

東海大学紀要

情報理工学部

Vol. 23 2023

目次

紀要論文

個人情報の保護に関する法律とビッグデータのための非識別化技術	.....	慎 祥揆	1
内因性光感受性網膜神経節細胞に関する最近の研究動向について	.....	添田悠介, 高雄元晴	10

研究室紹介

Theory and Applications of Machine Learning (Ozeki Lab.)	.....	尾崎智子	14
MRI による生体内の熱・物質輸送の画像計測	.....	黒田 輝	16
高雄研究室における学生たちによる最近の研究の紹介	.....	高雄元晴	18
近年における大気環境観測研究（中島研究室）	.....	中島 孝	20
量子技術に関する情報科学科としての取り組みおよび牧野研究室の研究紹介	.....	牧野浩典	22
光を利用して眼から光学部品までを考える	.....	室谷裕志	24
進化型計算に関する研究事例紹介	.....	染谷博司	26
計算科学から見た生体高分子の世界（日向寺研究室）	.....	日向寺祥子	28
機械学習を応用した新しい映像・音響センシング	.....	木下裕磨	30
情報科学科 高橋研究室	.....	高橋智博	32

PROCEEDINGS
OF THE
SCHOOL OF INFORMATION
SCIENCE AND TECHNOLOGY
TOKAI UNIVERSITY

SERIES J
CONTENTS

VOL.23 2023

Papers

Act on the Protection of Personal Information and De-identification Processing Technology for Big Data	Sanggyu Shin	1
Recent Research Advancement of Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cell	Yusuke Soeda, Motoharu Takao	10
Theory and Applications of Machine Learning (Ozeki Lab.)	Tomoko Ozeki	14
Recent Developments in Visualization of Heat and Mass Transfer in Biomedical Body using MRI (Kuroda's Laboratory)	Kagayaki Kuroda	16
Introduction of Recent Studies by Students in Takao's Lab.	Motoharu Takao	18
Recent activities on the atmospheric environmental observations (Nakajima Laboratory)	Takashi Y. Nakajima	20
Introduction of Makino laboratory	Hironori Makino	22
Using Light to Think from the Eye to Optical Components	Hiroshi Murotani	24
Studies on Evolutionary Computation in Someya Laboratory	Hiroshi Someya	26
Computational Analysis of Biomolecular Functions	Sachiko Hyugaji	28
Novel Video and Audio Sensing Applying Machine Learning	Yuma Kinoshita	30
Introduction of Takahashi laboratory	Tomohiro Takahashi	32

個人情報保護に関する法律とビッグデータのための非識別化技術

慎 祥揆^{†1}

Act on the Protection of Personal Information and De-identification Processing Technology for Big Data

by

Sanggyu Shin

(Received on Oct. 23, 2023 & accepted on Dec. 22, 2023)

Abstract

This paper introduces the law definitions of de-identification, re-identification, anonymization, and pseudonymization based on the amendment act of the Act on the Protection of Personal Information to be enforced from April 1, 2022. Furthermore, this paper the current international standardization trends in the de-identification field, including the standardized frameworks ISO/IEC 27559 and ITU-T X.1148 (Framework of de-identification process for telecommunication service providers), ISO/IEC 20889 and ISO/IEC 29100. Personal data de-identified through anonymization or pseudonymization must be correctly de-identified before it is used as part of publicly available big data sets. Many companies are implementing Big Data projects that require a sound legal understanding and development according to international standards to remain compliant with the ever-increasing regulatory risk requirements. Dealing with Big Data and sensitive personal data requires knowledge and technical competence to maintain the appropriateness of that data.

Keywords: Act on the Protection of Personal Information, de-identification, anonymization, pseudonymization, ISO/IEC 20889:2018, ISO/IEC 27559:2022, ITU-TSG17 X.1148

1 はじめに

最近の ChatGPT や生成 AI のブームは、巨大なデータの収集と分析を基盤にしている。このように、最近 5G 時代を迎え、人工知能 (AI)、クラウド、モノのインターネット (IoT) などの技術の必須要素でありながら、第 4 次産業革命において重要な位置づけにある「データ」産業による経済の活性化が期待されている。しかしながら、企業と機関がデータを収集し活用する過程で、個人のプライバシーを侵害する可能性もまた増加している。このように、収集されたビッグデータはデータ科学の分野だけでなく人文科学の分野においても加速度的に使用され、技術発展に貢献している反

面、それに伴い収集されたデータの個人情報の問題や、著作権の問題など、様々な技術的、法律的な問題を生じてしまっている。これらのビッグデータは、一般にアクセス可能なデータを適切に普及および匿名化した場合にのみ使用することができるよう法律で定められている [1]~[3]。

法律の範囲内でその活用を促進させるためには、ビッグデータの分野に関わる開発のフレームワークの導入及びその標準化を促進し、これを管理するための、非識別化 (De-identification)、再識別化 (Re-identification)、匿名化 (Anonymization)、仮名化 (Pseudonymization) 技術の理解と新たな国際的な基準の提案が必要となる。

Sweeney の研究によると、アメリカの人口の 87% をその性別、郵便番号、生年月日をもとに、一意に識別できることが立証された [4]。他には、2006 年に EFF

^{†1} 東海大学 情報理工学部 コンピュータ応用工学科
Dept. of Applied Computer Engineering, School of Information Science and Technology, Tokai University

(Electronic Frontier Foundation) 研究チームによって匿名の AOL 検索クエリを収集・分析を行われ、非識別化された Netflix の利用データから個人が特定できることが確認されている。いずれの組織も研究の名目でデータを公開していた [5]。これは、匿名化によるデータ加工は実用的ではあるが、更なる研究と相当な注意が必要であることを示している。

匿名化で代表される非識別化処理は、識別可能なデータを修正して特定の個人を識別できないように処理するプロセスであり、非識別分野では非識別処理を行う際にデータの有用性を損なうことなく非識別水準を高めることに対する技術的方法論に関する研究が活発に進められている。また、非識別処理環境と処理目的に沿った適切な水準の非識別化の可否を判断するための、データの非識別化を保障することに関する要求事項を開発する必要性が生じている。

本稿では、2022 年 4 月 1 日から施行された改正個人情報保護法による非識別情報の法律的定义と、現在非識別分野で標準化されたフレームワークとデータ非識別評価要求事項の提示の必要性のために開発された国際標準及び標準化推進動向を紹介する。まず、第 2 章では個人情報の保護に関する法律について、第 3 章で、非識別化処理の概念と法律に基づいた各情報の定義と違いを、非識別化プロセスに関連する国際標準化の動きを第 4 章で述べ、最後にまとめる。

2 個人情報の保護に関する法律

最近、ChatGPT の個人情報収集問題やインターネット広告のプライバシー保護に関連する問題など、個人情報収や知的財産に関するトラブルがよく話題になっている。インターネット上のプライバシー保護については、EU やアメリカが先行して取り組んでいたが、日本でも 2022 年 4 月 1 日から、2020 年公布の個人情報の保護に関する法律（改正個人情報保護法）が施行された [1]。個人情報保護法の改正の方向は、個人の権利利益の拡大するための規制強化の方向であるが、個人データの利活用の促進のための仮名加工情報の創設、情報漏洩時の報告の義務化など、情報を扱う企業に直接影響を与える新たな規律の他、個人情報の範囲を広げるような試みも見られる。

個人データを加工して利用する情報としては、これまでも統計情報と匿名加工情報があったが、これに新たな加工情報が加わっている。他にも様々な新設があるが、その他、新たに定められたものは様々あるが、企業のデジタルマーケティングにおいて実務上重要な内容としては個人関連情報があげられる。まず、個人情報や個人関連情報、匿名加工情報、仮名加工情報など

を法律に準じながら、その違いと定義を述べる。

2.1 法律による各法律用語の定義

個人情報とは、生存する個人に関する情報のことで、氏名、生年月日などのデータによって特定の個人を識別できる情報、または個人識別符号¹を含む情報のことを指している [1][2][6]。

個人関連情報とは、個人情報保護法上の定義によると「生存する個人に関する情報であって、個人情報、仮名加工情報及び匿名加工情報のいずれにも該当しないものをいう」というような消極的な定義がされている。一般的には、氏名など個人情報と結びついていないネット閲覧履歴、位置情報、Cookie 情報等が該当する。Cookie によって取得される情報は、それ単体では個人情報ではないが、今回の改正法では個人関連情報と扱われるようになった [1][2]。

統計情報は、複数人の情報から共通要素に係る項目を抽出して同じ分類ごとに集計等して得られる情報であり、一般に、特定の個人との対応関係が排斥されているため、個人情報に該当しないものである [7][8]。統計情報は個人情報保護法で特段の規制はないため、利用目的も第三者への提供も自由である。従って、顧客や利用者から個人データの第三者提供の同意を取得すれば、そのままの個人データから一定の加工を施したものまで提供が可能になる。しかし、現実的にはあらためて第三者提供への同意を再度取得するのは難しい [9]。

2.2 個人情報保護法の改正必要性

EU では、インターネット上におけるプライバシーへの懸念から、2018 年に GDPR (General Data Protection Regulation: 一般データ保護規則) が施行された [10][11]。この施行によって、従来の EU データ保護指令よりもさらに厳格化されることになり、IP アドレスや Cookie などのオンライン識別子もパーソナルデータに含まれるように規定された。また、企業側には、ユーザーから明示的な同意を取得することが求められることとなった。

その GDPR が 1 つのきっかけになり、世界各国でプライバシーに関する議論がさらに活発化し、2020 年にはアメリカのカリフォルニア州では、CCPA (California Consumer Privacy Act: カリフォルニア州消費者プライバシー法) という独自の法律が施行された

¹ 身体の一部の特徴をコンピュータで利用するために変換したもの（たとえば、DNA や顔など）と、公的なサービスの利用のためにサービス利用者に割り振られる番号（たとえば、免許証の番号やマイナンバーなど）

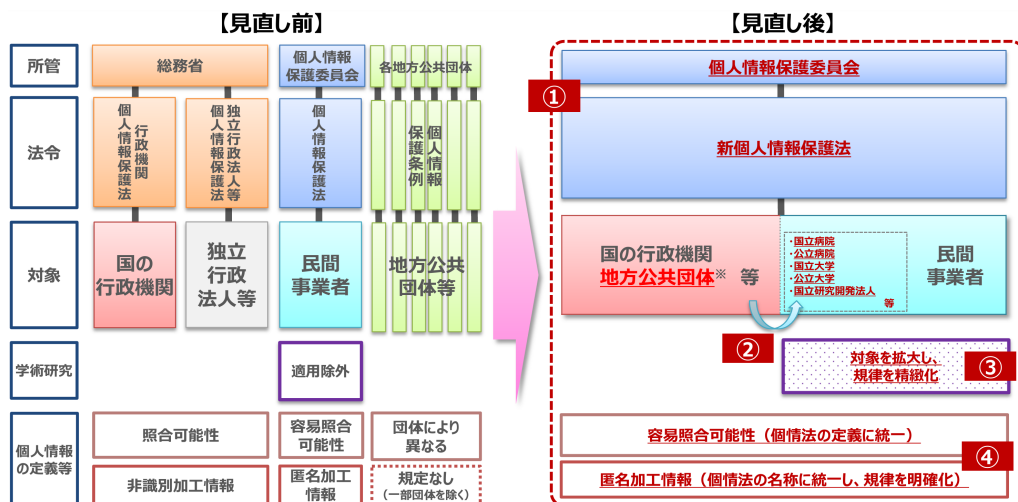


図1 個人情報保護制度見直しの全体像 [13]

[12]. その他、韓国²、ブラジルやタイなど世界各国においても同様の法律が相次いで検討・施行されている。

産業界の動きでも、Apple 社や Google 社による 3rd Party Cookie の利用制限など、プラットフォームによる技術的な規制も同時に進んでいる。

日本においても、2005 年に個人情報保護法（正式には「個人情報の保護に関する法律」）が施行されたが、最近のインターネットの発展とそれに伴う企業のデータ活用がますます広がっており、個人情報の扱う環境にも大きく変化している。これらの環境変化に応じるため、法律も時代に合わせてその内容を大きく変化させなければならなくなった。

それに従い、個人情報保護法では、その改正法附則において 3 年ごとの見直しが求められている。個人情報保護に関する国際的な動向や、情報通信技術の進展、それに伴う新たな産業の創出などを勘案して必要性が認められた場合に見直しが行われる。従い、2017 年には第 1 回の個人情報保護法改正が、2020 年 6 月に第 2 回の改正個人情報保護法が公布されて 2022 年 4 月から施行されている。

2020 年の改正内容が全面施行され、2021 年の改正が一部施行となり、2022 年 4 月施行の個人情報保護法は、以下の観点から内容が見直された。

- 個人の権利利益の保護
- 技術革新の成果による保護と活用の強化

- 国際的な制度調和と連携
- 越境データの流通増大に伴う新たなリスクへの対応
- AI・ビッグデータ時代への対応

また、2023 年 4 月施行の個人情報保護法の改正では、国の行政機関、独立行政法人等、民間事業者及び地方公共団体等においてこれまで別々の法律や条例により運用されてきた個人情報の取扱いが同一の法（個人情報保護法）によって運用されることとなり、国の機関である個人情報保護委員会が全体を所管することとなった。

法の改正について、個人情報保護委員会のホームページからの説明を参考として追加する（図 1 とその説明）[13]。

図 1 の①：個人情報保護法、行政機関個人情報保護法、独立行政法人等個人情報保護法の 3 本の法律を 1 本の法律に統合するとともに、地方公共団体の個人情報保護制度についても統合後の法律において全国的な共通ルールを規定し、全体の所管を個人情報保護委員会に一元化。

図 1 の②：医療分野・学術分野の規制を統一するため、国公立の病院、大学等には原則として民間の病院、大学等と同等の規律を適用。

図 1 の③：学術研究分野を含めた GDPR の十分性認定への対応を目指し、学術研究に係る適用除外規定について、一律の適用除外ではなく、義務ごとの例外規定として精緻化。

図 1 の④：個人情報の定義等を国・民間・地方で統一するとともに、行政機関等での匿名加工情報の取扱いに関する規律を明確化。

²2023 年 9 月 15 日に施行された韓国の改正個人情報保護法には、情報主体である国民の権利は実質的に保障しながら、オンライン・オフラインに二元化されている個人情報処理基準をデジタル環境に合わせて一元化するなど、これまで各界で議論されてきた多様な内容が含まれている。

3 非識別化処理

改正個人情報保護法にて個人データの利活用の促進に向けたものとして新たに仮名加工情報が定義付けられたが、それぞれどのような場合に使えるのか、特に匿名加工情報と仮名加工情報の違いを理解する必要がある。

3.1 非識別化の概念

匿名加工情報と仮名加工情報とも、非識別化と関連するものである。

非識別加工情報とは、個人情報に含まれる記述等の一部を削除すること又は個人識別符号の全部を削除すること等により、「特定の個人を識別することができないように個人情報を加工して得られる個人に関する情報であって、当該個人情報を復元することができないようにしたもの」と定義されている [14]。

非識別処理とは、「運用データから氏名や電話番号、生年月日などの識別情報を取り除く処理であって、識別情報を構成するデータの削除、数値の丸め込み、不可逆符号への変換などを含むもの」をいう [15]。

3.2 匿名処理

2015 年度の個人情報保護法の改正に伴って創設された、匿名加工情報の定義は以下の通りである。

次の各号に掲げる個人情報の区分に応じて当該各号に定める措置を講じて特定の個人を識別することができないように個人情報を加工して得られる個人に関する情報であって、当該個人情報を復元することができないようにしたものをいう [1][2]。

- 一 第一項第一号に該当する個人情報 当該個人情報に含まれる記述等の一部を削除すること（当該一部の記述等を復元することのできる規則性を有しない方法により他の記述等に置き換えることを含む。）
- 二 第一項第二号に該当する個人情報 当該個人情報に含まれる個人識別符号の全部を削除すること（当該個人識別符号を復元することのできる規則性を有しない方法により他の記述等に置き換えることを含む。）

要約すると、匿名加工情報とは「特定の個人を識別できないように個人情報を加工して得られる個人に関する情報であって、当該個人情報を復元できないようにしたもの」である。

従って、匿名処理（Anonymisation）は、合理的に予想されるあらゆる手段（費用、時間、技術発展）を考慮しても、個人を識別できないように処理することを意

味する。匿名情報は個人情報ではないため、個人情報保護法の適用対象ではなく、自由に活用できる [16][17]。

しかし、個人情報データを匿名化しても、英 ICO が独自の「匿名化規範ガイド」で概説しているように、自分に関して他にどのようなデータが出回っているのかわからないし、それが誰かしらによって匿名データセットとどのようにマッピングされるかも、決してわからないという問題が残る [18]。

3.3 仮名処理

2020 年度の個人情報保護法の改正に伴って提言された、仮名加工情報の定義は以下の通りである。

次の各号に掲げる個人情報の区分に応じて当該各号に定める措置を講じて他の情報と照合しない限り特定の個人を識別することができないように個人情報を加工して得られる個人に関する情報をいう [1][2]。

- 一 第一項一号に該当する個人情報 当該個人情報に含まれる記述等の一部を削除すること（当該一部の記述等を復元することのできる規則性を有しない方法により他の記述等に置き換えることを含む。）
- 二 第一項二号に該当する個人情報 当該個人情報に含まれる個人識別符号の全部を削除すること（当該個人識別符号を復元することのできる規則性を有しない方法により他の記述等に置き換えることを含む。）

つまり、仮名加工情報は「他の情報と照合しない限り特定の個人を識別できないように個人情報を加工して得られる個人に関する情報」である [20]。

従来、匿名加工情報が存在していたにもかかわらず、2020 年 3 月に閣議決定された個人情報保護法改正案によって新たに仮名加工情報が新設された理由として、個人情報保護法制度改正大綱では以下の理由が挙げられている [19]。

- 事業者の中で、「仮名化」と呼ばれる加工を施した上で個人情報を活用する事例がみられたため。
- EU において、個人情報としての取り扱いを前提としつつ、若干緩やかな取り扱いを認める「仮名化」が規定され、国際的にもその活用が進みつつあるため。即ち、一定の安全性を確保しつつ、さらなる利活用を促進する観点から、他の情報と照合しなければ特定の個人を識別することができないように加工された情報である、仮名加工情報が導入されたことである。

従って、仮名処理（Pseudonymisation）は、個人情報を追加情報なしには特定個人を識別できないように処理することである。すなわち、データセット内にある識別子を暗号化・ハッシュなどの手法を用いて他の

表1 各情報間の違い

	個人情報	統計情報	匿名加工情報	仮名加工情報
第三者提供	○ 同意必要	○ 同意不要	○ 同意不要	×
再識別	-	不可能	禁止	禁止
利用目的の変更	-	○ 同意不要	○ 同意不要	○ 同意不要
開示・利用停止等の請求対応	必要	不要	不要	不要
漏えい等の報告	必要	不要	不要	不要

属性に置き換える処理である。仮名情報は仮名化された情報であり、個人情報であるため個人情報保護法の適用を受け、制限された目的の下で技術的・管理的に安全措置を行なった上で活用できる。

追加情報とは仮名化過程で生成される情報で、このような追加情報は原本情報とは別に分離して保管しなければならない、これに対する技術的・管理的な安全措置が必要である。

3.4 各情報の違い

仮名加工情報も匿名加工情報も、両方とも個人情報や個人識別符号を加工して作成することは共通している。端的な違いは、第三者提供できるか否かである。本人に同意を得ることなく第三者に提供したい場合は、匿名加工情報か統計情報を、仮名加工情報はいかなる場合も第三者提供は禁止である。

本人に同意を得ることなく利用目的を変更したい場合は、仮名加工情報、匿名加工情報、統計情報が利用できるが、仮名加工情報は同一社内、委託先、共同利用の場合のみで、元の個人にアクセスする利用は禁止である。各情報間の違いを表1に示す[21]。

3.5 再識別問題

再識別化に関する懸念は、イギリスの NHS デジタル（保健・社会医療情報センター）が2021年、「計画・研究のための一般診療データ」という構想のもと、イギリス国民の健康データの大規模収集を推し進めたことで表面化した。この計画では、イングランド全住民の GP 医療記録を中央の研究機関に伝送・集約することになっており、国民にはオプトアウト³するのに短い猶予しか与えられていなかった[22]。

日本国内では、JR 東日本のプライバシー関連の話題で、2013年のユーザーの利用履歴を第三者である日立製作所へ提供していた件がある[23]。

再識別問題を打開する理論的な方法のひとつは、個人の身元を明らかにするようなデータをひたすら取り除き続ける手法がある。しかし、データを削除する

たびに、データセットの価値が下がってしまう。

匿名性と有用性を両立させる方法のひとつとして、ディファレンシャルプライバシーがある。パラメータを微妙に変化させることでデータに統計的なノイズを加える手法である。たとえば、ある人の年齢や郵便番号をわずかにずらして、その相関を取りにくくする手法などである。しかし、研究者やハッカダちはデータベースに繰り返しアクセスする手法などで、そのノイズを除外することができる。対策として、ディファレンシャルプライバシーのもう一つの要素として、データにアクセスできる回数に制限が設ける方策が採られている。

法律的には非識別化に関する更なる法整備を求める方向もあるが、管理面の対策であり、技術的な対策にはならない。

4 国際標準化の動き

4.1 非識別技術標準

ISO/IEC 20889:2018 標準は ISO/IEC JTC 1 で開発した非識別分野の最初の国際標準[24]であり、ISO/IEC 29100 の個人情報保護原則[25]に従って標準化された用語を用いて既存の非識別化技術を分類し、再識別化のリスクを低減するための基盤技術及び各技術の適用可能性等の特性について説明する標準である。

標準の主な内容としては、再識別攻撃の種類、非識別化技術の種類、一般プライバシー測定モデル、非識別化技術適用のための一般的な原則、非識別化ツール・技術・モデルの特性紹介がある。一方、ISO/IEC 20889で提示された技術はテーブル形式に変換できるデータセットに適用可能な内容であり、自由形式のテキストやイメージ、オーディオ、ビデオを含む複雑なデータセットには適用できない。標準の最大の特徴は、複数の技術と定量的な観点からのリスク等を考慮した上で、同一の攻撃リスクに相反する助けになる非識別技術があれば、有用性の観点から最適な技術を選択することを提示することである。

ISO/IEC 20889 は上記した通り、ISO/IEC 29100 の個人情報保護原則に基づき、個人情報保護措置の説明・設計に使用される個人情報保護強化データ非識別化技術の説明を提供している。

³ユーザーに許可を取ることなく、宣伝広告をメールなどの方法で送りつけること。また、宣伝広告の受け取りを、ユーザーが拒否する意思を示すこと。

表2 非識別フレームワークの構成

構成要素	主な内容
文脈 (Context)	攻撃者が活用できる外部情報を決定するために、データ受信者がデータを活用できるようになる環境及び状況を評価。これは、文脈（Context）を考慮したコントロール（受信者の IT セキュリティコントロール、書面契約に記述された義務、ポリシー及びガバナンス処置）を通じてリスクを管理できることを意味する。
データ (Data)	攻撃者が活用可能な追加情報が PII を表したり明らかにしたりすることに使用できる方法を決定するためにデータ自体を評価。リスクは、データ変換によってどのようなデータが活用可能となり、どのようなデータ形式が今後活用可能となるかを制限することによって管理できる。
識別可能性 (Identifiability)	識別可能性を評価する方法は、文脈リスク（攻撃確率）とデータリスク（攻撃がある場合の公開確率）によって決定。識別可能性が事前定義された許容誤差レベル未満になるようにするには、適切な許容誤差を定義する必要がある。
ガバナンス (Governance)	管理者が現在及び将来において上記事項が一貫的で、効率的に完了するようにするために文書化される手順及び慣行、非識別化されたデータの可用性が確保される前、確保される過程のうち、確保された後に必要な準備を意味する。

ISO/IEC 29100:2011 では、次のような個人情報セキュリティフレームワークを規定している。

- 一般的なプライバシー用語を指定
- 個人識別情報 (PII) を処理する行為者とその役割を定義
- プライバシーの考慮事項について説明。そして、
- 情報技術について既知のプライバシー原則への参照を規定

ISO/IEC 29100 は、PII 処理のために個人情報保護統制が必要な情報及び通信技術システムやサービスの指定、調達、設計、開発、テスト、維持管理、管理及び運営に関わる自然人及び組織に適用される。

4.2 非識別化フレームワーク

国際標準 ISO/IEC 27559:2022 は、国際標準化機構である ISO と IEC 合同技術委員会 (JTC 1) SC 27 WG5 から現在 DIS (Draft International Standard) バージョンまで進行された標準であり [26]、2018 年 11 月に制定された国際標準である ISO/IEC 20889[24] プライバシー強化データ非識別化用語および技術分類の後続標準として制定中である。

ISO/IEC 27559 標準は、非識別化されたデータのライフサイクルに関連するリスクを把握し、緩和するためのフレームワークを提供する。この文書では、プライバシーの向上に寄与する非識別化とはどういうことを考慮しておこなわなければならないかということを記載している。

ISO/IEC 27551:2021 が非連結化（匿名化など）ということはどういうことかという概念を整理しているのに対して [27]、この規格では、具体的にどういうことをすればよいかということを整理している。このために、この文書では、

- データアセスメント（攻撃者が得ることができると

思われる対象個人の性質、データの形式、個別属性の性質、データセットの性質などを評価）

- 攻撃モデリング
- 非識別化可能性評価
- 対策実施
- バナンスに関しての説明

を提供している [28]。表 2 に、27551 にて非識別フレームワークの構成を示す。図 2 は、データ非識別プロセスを示す。

ITU-TSG17 X.1148 非識別プロセスフレームワーク [29] は、韓国の金融保安院 (FSI: Financial Security Institute) と KISA (Korea Internet & Security Agency: 韓国インターネット振興院) が ITU-T SG17 (情報保護) で開発した「非識別処理フレームワーク標準」であり、2016 年 SG 17 定期会議で金融保安院と韓国電子通信研究院 (ETRI: Electronics and Telecommunications Research Institute)、韓国の順天郷大学校 (Soon Chun Hyang Univ.)、中国のチャイナモバイル (China Mobile) が共同エディターとして参加し、新たに進行可能課題として採択された新規課題である。2016 年 8 月に韓国インターネット振興院が非識別措置支援センターに正式指定されることになり、12 月から本標準の共同エディタとして参加し、現在は両機関で主導的に最終標準制定のための手続きを進めている [30]。

本標準は非識別処理手続きに対する国際標準で、全産業分野に関係なく適用が可能である。ただし、非識別処理詳細技術は ISO 20889 と範囲が重複するため、別途取り扱っていない。

本非識別処理手順標準の主な内容は、

- データの流れ（ライフサイクル）による非識別処理が必要な地点定義（図 3）
- 韓国のガイドラインで提示した 4 段階の非識別処理

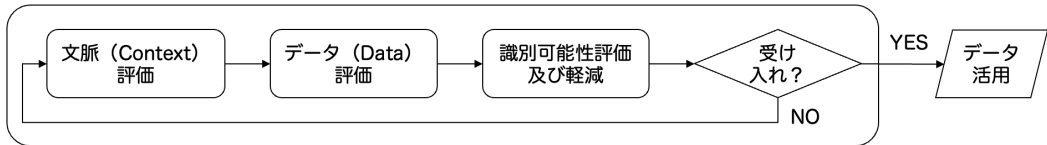


図2 データ非識別プロセス

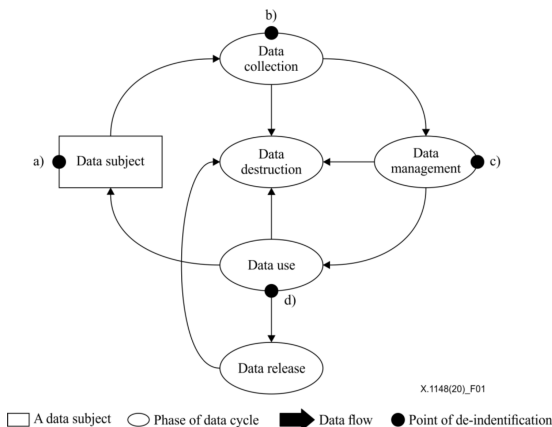


図3 データライフサイクルモデルにおける非識別プロセス [29]

手順 (図4)

- 非識別情報提供モデル別特性と非識別処理水準によるデータ形態 (図5) である。

図3はデータの流れ「生命周期」にともなう非識別処理が必要な3つの地点を定義している。具体的には、ライフサイクルモデルからデータを収集する地点 ((a) または (b))、データ管理する地点 (c)、データ使用する地点 (d) で非識別処理を行うことができる。最初の地点 (a), (b) はデータが収集されるが識別情報が実際に必要でない場合、非識別処理を行う場合であり、個人情報保護目的のためにデータを管理する段階であるデータ変換及びデータ保存段階で必要でない識別子を収集時点であらかじめ除去する地点である。2番目の地点である (c) 地点は、非識別情報の管理を避けるためにデータ変換後およびデータ保存前に非識別処理を行うことができる地点である。最後の地点 (d) は、業内で完全に識別されたデータが必要な場合、識別情報は分析用途で使用し、データ共有前に非識別処理を進めることができる地点である [32]。

図3のようにデータライフサイクル全般にわたって目的に合った非識別処理を行う場合、個人情報露出リスクを最小限に抑え、データ共有を容易に行えるとい

うメリットがあり、どの時点で非識別処理を行うべきかについての政策決定には、「データ分析のためのデータ活用目的とデータの特性」などが影響を及ぼしかねない。また、この決定は各データ分析および活用目的によってより効率的でデータ有用性を増大させることができる特定非識別技術を選択するのも役立つ [32]。

図4は韓国国内のガイドライン [31] で提示した4段階の非識別処理手順について扱っており、国際標準として技術従属性などにより適合しない部分を修正補完している。

図5は非識別処理過程のデータ形態と非識別水準に対する図で、非識別処理水準によるデータ形態と非識別処理過程で現れるデータ形態を識別データから非識別データまで表現している。図5に表現された各データ形態は、いずれも個人識別の危険が存在し、それぞれ異なる水準を持つ。特に、図5の左側にある「識別データ形態」は非識別処理が行われるにつれて次第に最も高い水準に変換され、右側の端にあるデータ形態は特定の個人を識別できないデータ形態で再識別可能性が非常に低い形態を示し、左端にあるデータ形態は特定の個人と直接連結された識別可能なデータ形態を示す [32]。

この二つのデータ形態の間には特定個人を識別するための試みを通じて特定個人や個人が含まれたグループを捜し出すことができるデータ形態が存在する。また、特定の個人データに基づくが、元のデータに復旧できないデータ形態も存在する。データの効率的活用のためには、高い水準の非識別処理が進められても要求されるデータの有用性を維持しつつ、図5の右方向の非識別データ形態に変換されなければならない [32]。

本標準は、既存の 20889 国際標準が各技術に対する紹介を主に並べたものとは異なり、全体の非識別処理手順をフレームワークで構成・開発したという点で意義がある。本標準は 2020 年 3 月、ITU-T SG 17 にて定期会議で最終標準として確定された。

5 ま と め

最近、ChatGPT や生成 AI で代表される AI 熱風で、北米、欧州を中心に個人情報侵害の憂慮が提起されている。日本国内にも 2 次改正個人情報保護法が 2022

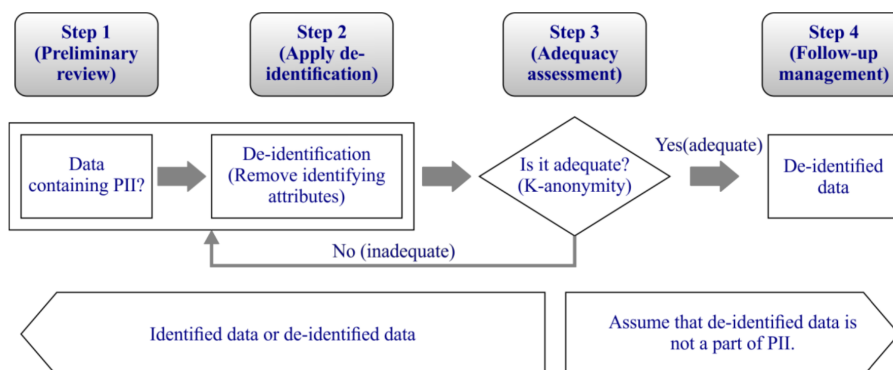


図4 非識別プロセス [29]

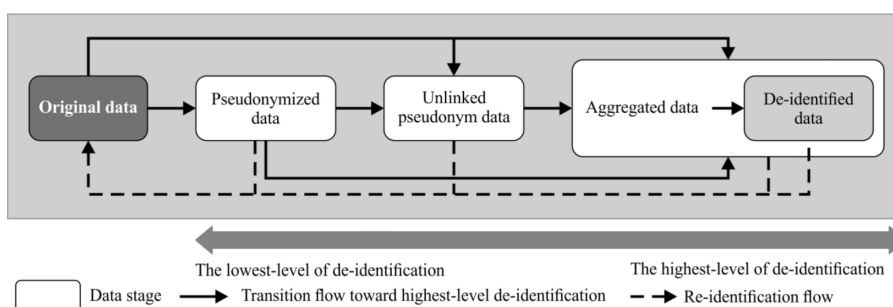


図5 非識別データステージ [29]

年4月1日から施行されているが、まだ法理的理解と非識別化プロセスに関連する支援システムの不備が見られる。ChatGPTや生成AIに利用されるビッグデータ収集が直接的に個人情報を収集するわけではないが、学習のために収集されたデータに個人情報が含まれる可能性があり、また、再識別技術を利用して個人を特定できるリスクが残っているためである。日本も数回の個人情報流出事故を契機に、個人情報を扱う際には匿名化や仮名化、個人情報フィルタリング技術などの適用が義務化されている。今回の個人情報保護法の改正でも仮名化情報に対する法律的根拠が追加されたことで、非識別情報の作成も活用が拡大するものと展望する。音声認識、テキスト生成、写真生成などの生成AI技術、個人化データ生成などデータを活用した経済を急速に成長させるためには、個人情報活用がより重要になり、その必要と共に安定した活用のための非識別化、個人情報保護技術に対する関心と開発が必要になるだろう。特に、非識別化フレームワークの国際標準としてITU-Tで最終採択されたX.1148とISO/IEC 27559などの国際標準の内容と標準化への国際的な動きを調べることで、要求条件に応じた非識別情報を正しく理解し、活用できることを期待し、

データ産業の経済活用化へ役立つ事を図る。

参考文献

- [1] e-GOV | 法令検索: “個人情報の保護に関する法律”, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=415AC0000000057>
- [2] 個人情報保護委員会: “個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン”, <https://www.ppc.go.jp/personalinfo/legal/guidelines-tsusoku/>
- [3] 個人情報保護委員会: “令和3年改正個人情報保護法について（官民を通じた個人情報保護制度の見直し）”, <https://www.ppc.go.jp/personalinfo/minaoshi/>
- [4] Sweeney, L.: “Simple Demographics Often Identify People Uniquely”, Data Privacy Working Paper 3, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA (2000)
- [5] John O.: “AOL reported to FTC”, https://www.theregister.com/2006/08/16/aol_suffers_ftc_complaint/
- [6] 総務省: “個人情報取扱事業者の責務”, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho-tsusin/security/business/executive/05.html
- [7] 個人情報保護委員会: “統計情報と匿名加工情報の違

- いは何ですか”,
https://www.ppc.go.jp/all.faq_index/faq1-q15-2/
- [8] 総務省: “個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン”, 個人情報保護委員会 (2016)
- [9] 板倉陽一郎: “個人情報保護法改正によるデータ流通への影響 2017 年改正, 2020 年改正及び 2021 年改正法案”, 公正取引委員会 (2021)
- [10] GDPR (General Data Protection Regulation) :
<https://gdpr-info.eu/>
- [11] 個人情報保護委員会: “EU (外国制度) GDPR (General Data Protection Regulation : 一般データ保護規則) ”,
<https://www.ppc.go.jp/enforcement/infoprovision/EU/>
- [12] CCPA (California Consumer Privacy Act) :
<https://oag.ca.gov/privacy/ccpa>
- [13] 個人情報保護委員会: “個人情報保護制度の見直しに関するタスクフォース「個人情報保護制度の見直しに関する最終報告 (概要) ”,
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kojinjyoho_hogo/pdf/r0212saisyuhoukoku_gaiyou.pdf
- [14] 小松 由季: “行政機関等の保有する個人情報の利活用に向けた法整備 ― 行政機関個人情報保護法等改正法案 ―”, 参議院 (2016)
- [15] 総務省: “個人情報保護法・電気通信事業における個人情報保護に関するガイドライン抜粋”,
https://www.soumu.go.jp/main_content/000305049.pdf
- [16] 経済産業省: “事業者が匿名加工情報の具体的な作成方法を検討するにあたっての参考資料”,
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/privacy/downloadfiles/tokumeikakou.pdf
- [17] 菊池浩明: “個人情報保護法の改正とビッグデータ活用”, 映像情報メディア学会誌, Vol.72, No.6, pp.872-878 (2018)
- [18] Information Commissioner’s Office: “Anonymisation: managing data protection risk code of practice”,
<https://ico.org.uk/media/1061/anonymisation-code.pdf>
- [19] 個人情報保護委員会: “個人情報保護法 いわゆる 3 年ごと見直し 制度改正大綱”,
<https://www.ppc.go.jp/files/pdf/seidokaiseitaiko.pdf>
- [20] 菊池浩明: “匿名加工とは何か”, 情報処理, Vol.59, No.5, pp.441-443 (2018)
- [21] 寺田真治: “改正個人情報保護法の「匿名」と「仮名」, 加工情報の違いを具体例で理解”,
<https://active.nikkeibp.co.jp/atcl/act/19/00350/012100001/?P=3>
- [22] Lindsay C.: “‘Biggest data grab’ in NHS history
 stuffs GP records in a central store for ‘research’ – and the time to opt out is now”,
https://www.theregister.com/2021/05/13/nhs_data_grab/
- [23] プライバシーテック研究所: “どう見る? JR 東日本のデータ活用と個人情報保護法”,
<https://acompany.tech/privacytechlab/jr-face-recognition-personal-information-protection-law>
- [24] ISO/IEC 20889:2018 Privacy enhancing data de-identification terminology and classification of techniques (2018)
- [25] ISO/IEC 29100:2011 Information technology, Security techniques, Privacy framework (2017)
- [26] ISO/IEC 27559:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection – Privacy enhancing data de-identification framework (2022)
- [27] ISO/IEC 27551:2021 Information security, cybersecurity and privacy protection Requirements for attribute-based unlinkable entity authentication (2021)
- [28] 崎村夏彦: “2022 年のプライバシー標準”,
<https://gihyo.jp/lifestyle/column/newyear/2022/privacy-standards>
- [29] International Telecommunication Union: X.1148 – Framework of de-identification process for telecommunication service providers (2020)
- [30] Lee H. and Lim H.: “金融ビッグデータ処理のための非識別処理技術の国際標準化動向”, Korea Information Processing Society Review, Vol.30, No.3, pp.20-26 (2023)
- [31] Ministry of the Interior and Safety(韓国: 行政安全部): “個人情報非識別措置ガイドライン”, (2016)
- [32] Choi J., Lee Y., Oh Y., and Lim H.: “非識別処理分野の国際標準化動向”, Review of KIISC (Korea Institute of Information Security & Cryptology), Vol.29, No.4, pp.13-18 (2019)

内因性光感受性網膜神経節細胞 に関する最近の研究動向について

添田悠介*¹, 高雄元晴*²

Recent Research Advancement of Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cell

Yusuke Soeda, Motoharu Takao

(Received on Oct. 14, 2023 & accepted on Nov. 3, 2023)

Abstract

Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) are mainly associated with non-visual functions such as photoentrainment of circadian rhythm and regulation of hormone secretion. Recent studies also have demonstrated that ipRGC is partly involved in sleep disorder and migraine. In this article, we review the studies on association among ipRGC, neurological diseases and individual differences.

Keywords: 1. ipRGC 2. blue light 3. sleep disorder 4. neurological diseases 5. review

1. はじめに

第 3 の光受容体である内因性光感受性網膜神経節細胞 (intrinsically photosensitive retinal ganglion cell : ipRGC) が 2000 年初期に David Berson, 高雄元晴らによって発見された¹⁾²⁾. この杆体でも錐体でもない新たな視細胞は” ものを見るという” 視覚機能にかかわっているのはもちろん, 概日リズムの光同調などの非視覚機能にも強い影響を与えている.

外界からの光刺激は, ipRGC で光電変換され網膜視床下部路を通して概日リズムを発振する視交叉上核に伝えられる. そして, この光情報はさらに上頸部交感神経節を介して松果体に伝えられる. 松果体では睡眠や日内リズムに関与するメラトニンというホルモンが分泌され血中に放出される. さらに, メラトニンは光によって分泌が抑制されるため, 日中にはメラトニン分泌が低くなるのに対し, 夜間に分泌量が高くなる. メラトニンは体内時計と環境光の両面から調節されことから, 昼夜の光の変化にも追従できる.

日中に受ける光の量の低下や夜間に受ける光の量の増加が人体に多くの悪影響を及ぼすことがよく知られるようになってきた. 最近の研究では, 夜間, 街路灯などの人工照明によって屋外で浴びる光が睡眠障害や精神障害の発症に関連すること³⁾, 夜間に寝室などで浴びる光の量の増加によって体重増加・肥満のリスクが高まること⁴⁾が報告されている.

上記の研究のようにこれらは現代の生活に深くかかわっているため, 内因性光感受性網膜神経節細胞は研究する意義が大いにある. 本稿では, このような非視覚機能に及ぼす ipRGC と光が与える影響に関する最近の研究動向を概説する.

2. ipRGC の特性

ipRGC はメラノプシン(melanopsin)と呼ばれる視物質を含有することから光刺激に応答できるとともに, 概日リズムの調節

に関わる視交叉上核や瞳孔反射を司っている視蓋前核オリブ核などに投射している⁵⁾⁶⁾. ipRGC は 480nm 前後 (青色) の短波長光に特に強い反応を示す¹⁾⁷⁾. また杆体, 錐体細胞と大きく異なるのは光刺激に対する時間応答特性である. 霊長類において杆体を介する場合の反応潜時は約 150ms, 錐体を介する場合は約 30~40ms だが, ipRGC は約 900ms であると 2005 年に報告されている⁸⁾.

3. 睡眠障害とメラトニン抑制

睡眠障害とは, 何らかの理由で夜間における入眠や睡眠維持が困難になる状態の総称である. 代表的なものとして不眠症があげられる. 現代では少子高齢化による働き手の不足や女性の社会進出, コロナ流行などをきっかけに, 労働者の働き方のニーズが多様化した. 勤務体系の種類が増えた影響で, 例えば夜勤・交代制勤務で睡眠時間帯が頻繁に変わることによって不眠や眠気などの睡眠障害に少なからず悩まされることがある. さらに若年層においては, 多機能化し続ける携帯電話が影響を与えている.

2011 年に消灯後の通話やテキストメッセージの送信に携帯電話を使用することが日本の青少年の睡眠障害と関連していることが示された⁹⁾. 毎日ほんの一瞬でも携帯電話を使用していると回答した人は 84.4%で, 消灯後の携帯電話の利用については 8.3%が毎日電話に, 17.6%がメールの送信に利用していた. 多重ロジスティック回帰分析にかけた結果, 消灯後の通話およびメールは, 説明変数とは無関係であり, それぞれ独立して睡眠障害と関連していた.

最近では夜間の薄暗い照明が与える影響を報告した研究がある¹⁰⁾. この実験は, 若いボランティア被験者に一晩中薄暗い人工光線 (Artificial Light at Night : ALAN) に曝露させメラトニン分泌と睡眠の質に与える影響を報告した. 1 ルクスの ALAN を一晩中照射すると, 睡眠断片化と 1 分間の無動状態を増加させ, 睡眠の質を悪化させた. 5 ルクスまでの ALAN は, メラトニンの生合成を有意に減少させ, 1 分間無動状態の

* 1 修士課程, 東海大学工学研究科電気電子工学専攻

* 2 教授, 東海大学情報理工学部情報科学科

割合や断片化指数を増加させた。これらのことから低照度の光は睡眠を阻害することが示された。

実験結果から、人は夜間全体にわたって低照度に対して敏感であることがわかった。携帯電話のような ALAN は若く健康な人のメラトニン分泌を妨げ睡眠の質を低下させる可能性がある。

4. うつ障害とメラトニン抑制

双極性障害は、躁状態すなわち気分の高揚や活力や活動性の増加・睡眠要求の低下、またうつ状態すなわち抑うつ気分や気分の低下や活力および活動性の減少といったエピソードが反復することである。この障害は概日リズム障害と密接な関連を有している。双極性障害を持つ患者は健康者やうつ病患者と比べて光曝露による夜間メラトニン分泌が大きく抑制されることが報告されているが¹¹⁾¹²⁾、反対の対照群の方で抑制率が高い¹³⁾、または患者群と対照群の間に差がないという報告もある¹⁴⁾。

最近の報告を紹介する¹⁵⁾。Philipp Ritter らはメラノプシン系を特異的に標的とする青色光を用いて、双極性 I 型障害の易刺激性患者におけるメラトニン抑制を調べた。単色青色光によるメラトニン抑制は群間で差がなく、暗条件下でのメラトニン濃度にも差はなかった。健康対照群では、双極性 I 型障害患者よりも青色光曝露時の主観的覚醒度の上昇が強かった。今回の実験では双極性 I 型障害の真性患者と健康対照群との間にメラトニン抑制の差は認められなかった。双極性障害と光曝露によるメラトニン抑制に関してさらなる調査が求められる。

また大うつ病性障害のサブタイプとして季節性感情障害 (Seasonal Affective Disorder : SAD) というものがある。これは秋から冬にかけてきまって気分の落ち込みが見られる障害であり、夏と冬の日照量の差に起因する。このことに注目した研究を紹介する¹⁶⁾。

2016 年の 1 年間、韓国でうつ病を理由に病院を受診した約 53 万例を分析した。気温、降水量、湿度などの気候要因の影響を除くと、1 日平均日照量が増加するとうつ病の症例数が増加した。しかし、この効果は 1 月と 5 月においてのみ有意であった。うつ病の症例数は過去 30 日間の 1 日平均日照量が多いほど減少し、この効果は 1, 3, 5 月においてのみ有意であった。今回の分析では、うつ病に対する太陽光の効果は限られた期間のみであり、短期間の日照はうつ病を増加させ、過去 30 日間の日照はうつ病を減少させるという傾向を支持している。

さらに ipRGC が発見されて以来、SAD の治療法として 470 ~ 490nm の青色光はいくつかの利点があるとされている。Meesters らが 2018 年に行った実験では、青色光は白色光と同様の効果があると報じた¹⁷⁾。

5. ブルーライトカットメガネ

ブルーライトカットメガネ (blue light blocking : BLB) は主にブルーライトを遮断するプラスチック製のメガネである。これは不眠症、睡眠相遅延症、交代勤務、時差ぼけ、非病理学的睡眠改善に対する睡眠介入、さらには、双極性障害、大うつ病、産後うつ病の治療法としても幅広い分野で研究されている。このメガネは ipRGC の活性化を減少させることにより、薄明かりでメラトニンの発現を誘導し睡眠を改善するといわれているが未だあいまいなままである。

一例を紹介する¹⁸⁾。この実験は方々の BLB が睡眠に与える影響をランダム化比較試験で調べたものである。メガネなしで過ごす 1 週間のベースライン検査の後、参加者は BLB または透明レンズメガネをランダムに配られ、1 週間を過ごした。こ

の 1 週間が終わると参加者は反対の条件に移行した。

実験の結果として、着用群は対照群と比較して主観的な入眠時間と覚醒回数を減少させ、反対に睡眠の客観的指標には有意な影響は見られなかった。総睡眠時間 (TST) は、主観的 TST および客観的 TST とともに、BLB を着用した条件では逆説的に短くなる傾向があった。この結果から、今回の実験では、BLB は健康な成人の睡眠時間や睡眠の質の客観的測定値を改善しなかったと言える。BLB の有用性を示すには、短期間におけるさらなる研究と長期的な影響を考慮した調査をする必要がある。

6. メラトニン抑制率の個人差

松果体から分泌されるメラトニンは自然な眠りを誘う作用のあるホルモンで、明るい光によって分泌が抑制される特徴を持つ¹⁹⁾⁻²²⁾。そのため現代社会に欠かせない室内照明や携帯電話やテレビの画面などの人工光からも分泌量が影響される。さらにこの抑制率は個人によって異なることが実験によって明らかにされている²³⁾。最近の研究を紹介する²⁴⁾。

この研究では光感受性に関連するパラメータを調整することで、個人レベルの概日位相予測を、内在的な概日周期と同程度のレベルで改善できるかどうかを調べた。健康な参加者は記録された光パターンを用いて、光に対する用量反応曲線の傾きを決定するパラメータ、光に対する位相反応曲線の形状を決定するパラメータ、および内因性概日周期の 3 つのモデルパラメータを変化させ、予測 DLMO 時間の感度分析を行った。デフォルトモデルでは、予測 DLMO 時間の平均絶対誤差は 1.02 時間であったが、3 つのパラメータをすべて反映させると平均絶対誤差は 0.28 時間に減少した。

光感度パラメータは内因性の概日周期と比較して位相の変動が類似し、概日位相予測を個別化するための実行可能なターゲットであることを示している。また、別の研究では概日周期は数ヶ月経っても再現が可能だと報告されている²⁵⁾。個人差に注目した研究は生活の質の向上、健康促進に貢献し、さらには個人に合わせた最適な環境を作ることに意義が生まれる。

7. 結語

ヒトにおいて ipRGC とメラトニンは、生体リズム調節に重要な役割を果たし相互に作用している。この相互作用が正常に動作しないとメラトニンが関わるうつ病や睡眠障害に加え、ipRGC が関わりと考えられる睡眠障害、片頭痛²⁶⁾に大きく影響を与える。例えばアルツハイマー病患者においては、認知症の重症度と相関して行動機能やメラトニン分泌、体温調節で概日リズムの異常が生じる²⁷⁾。これらの症例はあくまで氷山の一角に過ぎないが、この第 3 の光受容体は人体に与える影響はとても大きいといえるだろう。しかし、メラトニンや虹彩、症状の進行度の個人差・民族差・地域差・加齢を調べた研究²⁸⁾⁻³⁵⁾はあるが、ipRGC の個人差等を考慮した研究報告はとても少ない。症状を細分化したらきりがなく、個人差も大きい精神障害や睡眠障害には完全には対処できない。ipRGC は発見されてからまだ四半世紀も経っていない。まだまだ研究の余地が残されたこの分野は医療業界、眼科業界、照明工学業界に大きく寄与すると筆者は考えている。

引用文献

- 1) Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by

- retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 295: 1070-1073, 2002.
- 2) Hattar S, Liao HW, Takao M, Berson DM, et al. Melanopsin containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*. 295: 1065-1070, 2002.
 - 3) Diana Paksarian, Kara E Rudolph, Emma K Stapp, et al. Association of Outdoor Artificial Light at Night With Mental Disorders and Sleep Patterns Among US Adolescents. *JAMA Psychiatry*. 77(12):1266-1275, 2020.
 - 4) Yong-Moon Mark Park, Alexandra J White, Chandra L Jackson, et al. Association of Exposure to Artificial Light at Night While Sleeping With Risk of Obesity in Women. *JAMA Intern Med*. 179(8):1061-1071, 2019.
 - 5) N. F. Ruby, T. J. Brennan, X. Xie, et al. Role of melanopsin in circadian responses to light. *Science*. 298: 2211—2213, 2002.
 - 6) R. J. Lucas, S. Hattar, M. Takao, D. M. Berson, et al. Diminished pupillary light reflex at high irradiances in melanopsin-knockout mice. *Science*. 299: 245—247, 2003.
 - 7) Takao M, Fukuda Y, Morita T. A novel intrinsic electroretinogram response in isolated mouse retina. *Neuroscience*. 357:363-371, 2017
 - 8) Dacey, D. M., Liao, H.-W., Peterson, B. B., et al. Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN. *Nature*. 433: 749–754, 2005.
 - 9) Munezawa T, Kaneita Y, Osaki Y, et al. The association between use of mobile phones after lights out and sleep disturbances among Japanese adolescents: a nationwide cross-sectional survey. *Sleep* 34: 1013-1020, 2011.
 - 10) Katarina Stebelova, Jan Roska, Michal Zeman. Impact of Dim Light at Night on Urinary 6-Sulphatoxymelatonin Concentrations and Sleep in Healthy Humans. *Chronobiol Int* 32(9):1294-310, *Int J Mol Sci*. 21(20):7736, 2020.
 - 11) Karen T Hallam, James S Olver. The heritability of melatonin secretion and sensitivity to bright nocturnal light in twins. *Psychoneuroendocrinology*. 31(7):867-75, 2006.
 - 12) P J Nathan, G D Burrows, T R Norman. Melatonin sensitivity to dim white light in affective disorders. *Neuropsychopharmacology*. 21(3):408-13, 1999.
 - 13) R W Lam 1, A L Berkowitz, S L Berga, et al. Melatonin suppression in bipolar and unipolar mood disorders. *Psychiatry Res*. 33(2):129-34, 1990
 - 14) J I Nurnberger Jr, S Adkins, D K Lahiri, et al. Melatonin suppression by light in euthymic bipolar and unipolar patients. *Arch Gen Psychiatry*. 57(6):572-9, 2000
 - 15) Philipp Ritter, Falk Wieland, Debra J. Skene, et al. Melatonin suppression by melanopsin-weighted light in patients with bipolar I disorder compared to healthy controls. *J Psychiatry Neurosci*. 45(2):79-87, 2020.
 - 16) Jungmin Son, Jinhee Shin. Bimodal effects of sunlight on major depressive disorder. *Compr Psychiatry*. 108:152232, 2021.
 - 17) Ybe Meesters, Wianne B Duijzer, Vanja Hommes. The effects of low-intensity narrow-band blue-light treatment compared to bright white-light treatment in seasonal affective disorder. *J Affect Disord*. 232:48-51, 2018.
 - 18) Jeremy A Bigalke, Ian M Greenlund, et al. Effect of evening blue light blocking glasses on subjective and objective sleep in healthy adults: A randomized control trial. *Sleep Health*. 7(4):485-490, 2021.
 - 19) J M Zeitzer, D J Dijk, R Kronauer, et al. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J Physiol*. 526 Pt 3(Pt 3):695-702, 2000.
 - 20) Tracey L Sletten, Victoria L Revell, et al. Age-related changes in acute and phase-advancing responses to monochromatic light. *J Biol Rhythms*. 24(1):73-84, 2009.
 - 21) Kenneth Appleman, Mariana G Figueiro, et al. Controlling light-dark exposure patterns rather than sleep schedules determines circadian phase. *Sleep Med*. 14(5):456-61, 2013.
 - 22) Mariana G Figueiro, Barbara Plitnick, et al. The effects of chronotype, sleep schedule and light/dark pattern exposures on circadian phase. *Sleep Med*. 15(12):1554-64, 2014.
 - 23) Andrew J K Phillips, Parisa Vidafar, et al. High sensitivity and interindividual variability in the response of the human circadian system to evening light. *Proc Natl Acad Sci USA*. 116(24):12019-12024, 2019.
 - 24) Julia E Stone, Elise M McGlashan, et al. The Role of Light Sensitivity and Intrinsic Circadian Period in Predicting Individual Circadian Timing. *J Biol Rhythms*. 35(6):628-640, 2020.
 - 25) Thomas Kantermann, Charmane I Eastman. Circadian phase, circadian period and chronotype are reproducible over months. *Chronobiol Int*. 35(2):280-288, 2018.
 - 26) 永田栄一郎. 片頭痛における内因性光感受性網膜神経節細胞 (ipRGC) の光応答の特性. *日本頭痛学会誌*, 48:170-174, 2021
 - 27) J Dai, D F Swaab, J Van der Vliet, R M Buijs. Postmortem tracing reveals the organization of hypothalamic projections of the suprachiasmatic nucleus in the human brain. *J Comp Neurol*. 400(1):87-102, 1998
 - 28) K Suhail, R Cochrane. Seasonal changes in affective state in samples of Asian and white women. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*. 32(3):149-57, 1997.
 - 29) Namni Goel, Michael Terman, Juana Su Terman. Depressive symptomatology differentiates subgroups of patients with seasonal affective disorder. *Depress Anxiety*. 34-41, 2002
 - 30) T J van den Berg, J K IJsspeert, P W de Waard.

- Dependence of intraocular straylight on pigmentation and light transmission through the ocular wall. *Vision Res.* 31(7-8):1361-7, 1991.
- 31) E K Visser, D G Beersma, S Daan. Melatonin suppression by light in humans is maximal when the nasal part of the retina is illuminated. *J Biol Rhythms.* 14(2):116-21, 1999.
 - 32) Shigekazu Higuchi 1, Yutaka Motohashi, et al. Influence of eye colors of Caucasians and Asians on suppression of melatonin secretion by light. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 292(6):R2352-6, 2007.
 - 33) J Pokorny, V C Smith, M Lutze. Aging of the human lens. *Appl Opt.* 26(8):1437-40, 1987.
 - 34) Mirela Herljevic, Benita Middleton, Kavita Thapan, et al. Light-induced melatonin suppression: age-related reduction in response to short wavelength light. *Exp Gerontol.* 40(3):237-42, 2005.
 - 35) H Borgmann. [Basic data for clinical pupillography. II. The age-dependence of the pupil diameter in darkness]. *Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol.* 184(4):300-8, 1972.

Introductory Article: Theory and Applications of Machine Learning (Ozeki Lab.)

Tomoko Ozeki*

(Received on Dec. 22, 2023 & accepted on Jan. 9, 2024)

Abstract: We introduce our research activities in the theory and applications of machine learning and AI such as computer vision, Game AI, and natural language processing.

Keywords: Machine Learning, AI, Computer Vision, Game AI, NLP, Civil Engineering

1. Introduction

Our laboratory is currently vibrant with 21 undergraduate students and 10 graduate students, including one JICA student from Libya, two from China, one from Korea, and one from Malaysia, all of whom are full of individuality (Fig. 1). Our laboratory conducts theoretical and applied research on machine learning and AI. Our research topics are basically open-ended and range from computer vision, game AI, natural language processing, and more. In this paper, we present our research over the past two years.

2. Research Results

2.1. Jewelry image correction

Jewelry is a product whose value is linked to its visual appearance. Therefore, jewelry retailers use photo retouching software to manually process jewelry images to eliminate the difference between the actual appearance and the image captured by a camera for online transactions. Applying image-to-image translation techniques to jewelry images is challenging due to the shape of the jewelry, its color, blurring of the boundary between the jewelry and background, and the unique light reflections. We have proposed an image-to-image translation method that corrects a captured jewelry image to an expertly retouched image [1,16,17]. Our method [1] outperformed other methods as shown in Fig. 2.

2.2. Application to Civil Engineering

Automation of impact-echo monitoring, one of the non-destructive inspection methods for concrete structures, has been studied. For automation, it is necessary to perform machine learning based on labeled data prepared in advance, and only prediction should be performed on the test site using the pretrained model. However, the accuracy of defect discrimination generally decreases when data is collected at different locations. We applied data augmentation to anomaly



Fig.1 Lab members



Fig.2 Jewelry image correction: From left, original, ground-truth, CycleGAN, Ours

detection methods based on convolutional neural networks (CNN) and Mahalanobis distance to obtain “true” generalization capability [4,10,12,14,15,18].

2.3. Game AI

Reinforcement learning is a type of machine learning that is useful for problems such as robot AI and game AI where it is difficult to give the correct action for a given situation. In our lab, we study applications of deep reinforcement learning to robot simulation [5] and car racing AI [6] (Fig.3). We are also working on rival Shogi AI for human learning [8,13] and video game analysis [9].

2.4. Natural Language Processing

VAD models that analyze emotions in three dimensions has been proposed to capture complex human emotions more precisely. We propose an efficient structure for a transformer model that recognizes VADs using the EMOBank dataset and the pre-trained large-scale language model, RoBERTa [7]. Furthermore, a dialogue system is being developed to assist first-year university students.

* 東海大学情報理工学部情報科学科

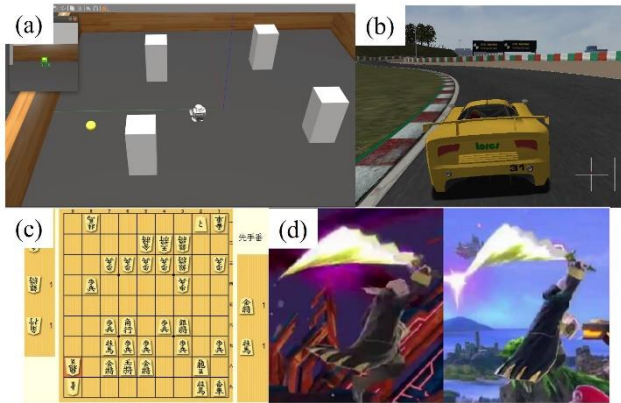


Fig.3 Game AI: (a) Robot AI navigation (b) Car racing AI (c) Rival Shogi AI (d) Game video analysis

3. Conclusion

In addition to the above research topics, students also conduct theoretical research on self-supervised learning [2,11], Brain Computer Interface [3], hand gesture recognition [19] and video classification. Since the research themes are dispersed, there are many difficulties. However, students actively participate in academic conferences and international conferences because students themselves work hard in a free atmosphere.

4. References (2022-2023, underlines are lab students)

- [1] T. Nakagawa, T. Ozeki, "Jewelry Image-to-Image Translation with Consistency Regularization and Data Augmentations," accepted in IEVC 2024.
- [2] D. Ishiguro, T. Ozeki, "Quantifying the Effect of Image Transformation Using Hypersphere Embedding," accepted in IEVC 2024.
- [3] A. Mlatem, T. Ozeki, "EEG-Based BCI System Using Deep Learning to Control PC Mouse," accepted in IEVC 2024.
- [4] M. Kumada, T. Shizuno, T. Ozeki, H. Shimbo, T. Mizobuchi, J. Nojima, "Improvement of Generalization Performance of Impact-Echo Test with AugMax," The 86th National Convention of IPSJ, Mar. 2024. (in Japanese)
- [5] Y. Oshigane, T. Ozeki, "Efficiency Improvement of Deep Q-Network in Robot Navigation Using Object Detection," The 86th National Convention of IPSJ, Mar. 2024. (in Japanese)
- [6] K. Yukawa, T. Ozeki, "Improving Slalom by Reward Design of Soft Actor-Critic on TORCS," The 86th National Convention of IPSJ, Mar. 2024. (in Japanese)
- [7] S. Seo, T. Ozeki, "VAD emotion recognition model based on RoBERTa with EmoBank dataset," The 86th National Convention of IPSJ, Mar. 2024. (in Japanese)
- [8] K. Nonaka, T. Ozeki, "Rival Shogi AI as a Practice Partner Adjusted to Match the Player's Strength," The 28th Game

- Programming Workshop (GPW-23), Nov. 2023. (in Japanese)
- [9] K. Takahashi, T. Ozeki, "Battle Analysis in Action Games Using Object Detection Models," The 28th Game Programming Workshop (GPW-23), Nov. 2023. (in Japanese)
- [10] T. Shizuno, T. Ozeki, H. Shimbo, T. Mizobuchi, J. Nojima, "Improving Generalization Performance by Data Augmentation Using SpecAugment and GAN for Concrete Impact-Echo Classification," Artificial Intelligence and Data Science, Volume 4, Issue 3, Pages 293-300, 2013. (in Japanese) https://doi.org/10.11532/jsceiii.4.3_293
- [11] D. Ishiguro, T. Ozeki, "Consideration of Negative Samples in Contrastive Learning," IEICE Technical Report IBISML, 2023. (in Japanese)
- [12] H. Shimbo, T. Mizobuchi, T. Ozeki, J. Nojima, S. Sano, M. Okamoto, T. Shizuno, "Generalization Capability in Machine Learning Approaches for Hammering Test Method," SynerCrete 2023.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-33187-9_66
- [13] K. Nonaka, T. Ozeki, "Rival Shogi AI That Dynamically Adjusts Its Strength to Match the Player," JSAI, Jun. 2023. (in Japanese)
https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2023.0_2M5GS1004
- [14] M. Okamoto, H. Shimbo, S. Sano, T. Mizobuchi, J. Nojima, "Improvement Accuracy on Impact-Echo Monitoring by Generation of Impact-Echo Using Deep Generative Model and Genetic Algorithm," The 85th National Convention of IPSJ, Feb. 2023. (in Japanese)
- [15] T. Shizuno, H. Shimbo, T. Ozeki, "Effectiveness of Data Extension in GAN for Concrete Percussion Detection Using CNN," The 85th National Convention of IPSJ, Feb. 2023. (in Japanese)
- [16] T. Nakagawa, T. Shizuno, D. Ishiguro, T. Ozeki, "Effect of background on image enhancement of jewelry data using Cycle GAN," FIT2022, Aug. 2022. (in Japanese)
- [17] T. Shizuno, T. Nakagawa, D. Ishiguro, D. Hosokawa, Y. Oshigane, T. Ozeki, "Image Enhancement of Jewelry Data Using CycleGAN," JSAI, Jun. 2022. (in Japanese)
https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2022.0_1O1GS702
- [18] M. Okamoto, H. Shimbo, S. Sano, T. Mizobuchi, T. Ozeki, "Generation of Impact-Echo Using GAN and Improvement of Accuracy on Impact-Echo Monitoring," JSAI, Jun. 2022. (in Japanese)
https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2022.0_1O1GS705
- [19] D. Ishiguro, T. Ozeki, "Development of Non-Contact User Interface by Hand Gesture Recognition Using Deep Learning," JSAI, Jun. 2022. (in Japanese)
https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2022.0_3F3GS901

研究室紹介：MRI による生体内の熱・物質輸送の画像計測

黒田 輝¹

Introductory Article: Recent Developments in Visualization of Heat and Mass Transfer in Biomedical Body using MRI (Kuroda's Laboratory)

by

Kagayaki Kuroda¹

(Received on Feb. 13, 2024 & accepted on Feb. 14, 2024)

Abstract

Abstract: Magnetic Resonance Imaging (MRI) can noninvasively visualize issue properties including temperature, metabolism, activation, chemical structure, molecular diffusion and flow. In this paper, recent progresses of our research focused on heat and mass transfer in biological body such as neurofluid dynamics in neurowaste clearance system, temperature change under thermal therapy in conjunction with numerical simulation, tissue change in holometabolous insect as well as MRI safety are introduced.

Keywords: MRI, neurofluid, temperature, thermal therapy, holometabolus, safety

1. はじめに

当研究室では疾患の診断・治療や生体内部における諸現象の解明のため、磁気共鳴画像化法 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) ならびに数値シミュレーションを駆使した研究を行なっている。MRI では撮像法の工夫により生体内に存在する原子核の置かれた物理・化学的な環境や運動状態などに対する感受性を持たせることができる。このような MRI の特性を活かして、今まで誰も観たことがないような生体情報、特に体内の物質や熱の輸送を可視化する研究を推進している。

2. 研究室の構成

現在、博士研究員 1 名、博士課程 1 年次生 1 名、修士課程 2 年次生 1 名、同 1 年次生 4 名、学部 4 年次生 11 名、同 3 年次生 (ゼミ生) 10 名、秘書 1 名の合計 29 名が在籍している。メンバーは 4 つの研究班、Neurofluid 班、温度班、シミュレーション班、昆虫班を構成している。以下、各班の研究内容を概観する。



Fig. 1 研究室メンバー

3. 研究内容

3.1 Neurofluid 班

ヒトの脳は想像を絶するほど精緻な組織であり、その実質は「絹こし豆腐のように」柔らかく繊細である。豆腐が硬い桶の

中に水を入れて守られているのと同様に、脳は軟膜や硬膜といった膜に覆われた状態で、硬い頭蓋骨の中に脳脊髄液 (Cerebrospinal Fluid, CSF) という液体に浸かる形で守られている。Fig. 2 において白く見える部分の大部分が CSF である。

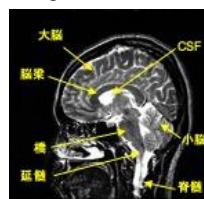


Fig. 2 健康者の矢状面における MRI (T2 強調画像)。大脳・小脳・橋から脊髄周囲に至る白い部分が CSF である

CSF は血流による頭蓋内圧力変化の緩衝作用を有する。さらに CSF は脳実質内の間質液と交換しながら、神経細胞周囲の神経老廃物の浄化に携わっていることが明らかになっている。この CSF が間質液と混ざり合った液体は neurofluids と総称され、近年の神経科学上の一大関心事となっている。Fig. 3 はマウス脳の視床付近の冠状面の $\pm 10 \mu\text{m/s}$ の範囲の速度ベクトルを画像化したものである。麻酔下での鎮静状態で観測された動きが心停止後には認められないことから、脳内の水分子の微小運動を可視化できていると考えられる。ただし、これが神経老廃物の浄化を担った neurofluid 灌流であるかどうかは不明であり、その検討のため現在、シミュレーションによる現象再現を試みている。

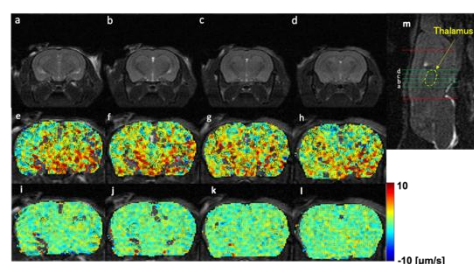


Fig. 3 マウス脳の視床付近の 4 断面(a-d)における、脳内の水分子の動き。全身麻酔下(e-h)ならびに心停止後(i-l)の動きを矢印とカラースケールで示した。

¹ 情報理工学部情報科学科 教授

3. 2 温度班

温熱療法では治療中の体内の温度分布を非侵襲に把握する必要がある。水分子のプロトンでは磁気共鳴周波数が負の勾配 (~ -0.01 [ppm/°C]) で温度に比例するので、共鳴周波数や複素磁気共鳴信号の位相により温度変化を測定することができる。Fig. 4 には、全身麻酔下のブタの腹腔臓器周囲神経を周波数 2.45GHz, 35W のマイクロ波で 120s 焼灼した後の温度画像を示す。

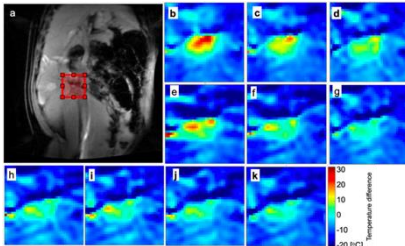


Fig. 4 全身麻酔下のブタの右冠動脈周囲神経を対象領域 (a の赤棒) とした、焼灼後の温度分布の変化。

3. 3 シミュレーション班

MRI との組み合わせが困難な構造の加温装置では電磁界 y 温熱界を数値解析するシミュレーションが重要となる。Fig. 5 は肺がん症例の数値人体モデルを用いて、電界・電流・SAR ならびに温度の分布を解析した結果である。

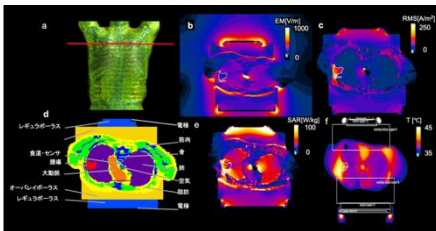


Fig. 5 X 線 CT の 3D データ(a)からの肺がん症例モデル(b). 電界(c), 電流密度(d), SAR(e)ならびに温度(f)分布の解析結果

MRI が磁場を使うことによる人体への影響、すなわち検査安全性に対してもシミュレーションは有用である。Fig. 6 に解析の一例として、乳幼児と小児に心臓ペースメーカを植え込んだ場合の高周波磁場による発熱の推定結果を示す。

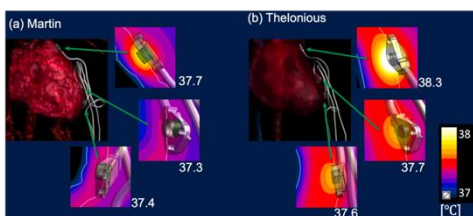


Fig. 6 心外膜リードを用いた心臓ペースメーカを装着した 2 歳 5 ヶ月の乳幼児 (a) ならびに 6 歳児 (b) モデルに対する温度分布に推定の結果。

3. 4 昆虫班

昆虫は地球上の全ての動物種の三分の二を占める、最も繁栄している種である。特に鱗翅目や鞘翅目などの完全変態昆虫は他の種を圧倒する。幼虫期には植物の葉や土を摂食し成長することに専念し、蛹体期に体構造を造り変え、成虫になってからは移動と生殖に専念する、という生存戦略の賜物である。この蛹体期の体内変化の機序の解明は驚くほど進んでいない。Fig. 7 はカブトムシの前蛹から羽化までの蛹期における形態変化を 9.4T の小動物用 MRI 装置で画像化した結果である。

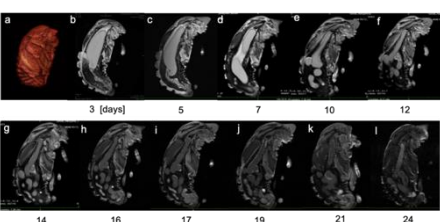


Fig. 7 カブトムシ (メス) の蛹の 3D ボリュームレンダリング画像 (a) と、蛹化後 3 日～24 日後 (b～l)

4. まとめ

当研究室における現在の主な研究内容を紹介した。当研究室における研究が、医療・医学を通じて世界中の人々に役立つよう、今後も研鑽を積んでゆきたい。

5. 最近 5 年間の当研究室からの主な学術論文

- (1) Shibukawa S, Konta N, Niwa T, et al. Temperature measurement of intracranial cerebrospinal fluid using diffusion tensor imaging after revascularization surgery in Moyamoya disease. *Magn Reson Imaging*. 2023;99:1-6.
- (2) Ikegami S, Ishiyama D, Oda Y, et al. Morphological Observation of the Pupal Body of *Trypoxylus dichotomus* Using 9.4T MR Imaging. *Magn Reson Med Sci*. 2023. doi: 10.2463/mrms.bc.2022-0070.
- (3) Yatsushiro S, Sunohara S, Matsumae M, et al. Evaluation of Cardiac- and Respiratory-driven Cerebrospinal Fluid Motions by Applying the S-transform to Steady-state Free Precession Phase Contrast Imaging. *Magn Reson Med Sci*. 2022;21(2):372-9.
- (4) Okamoto H, Igaki H, Chiba T, et al. Practical guidelines of online MR-guided adaptive radiotherapy. *J Radiat Res*. 2022;63(5):730-40.
- (5) Matsumae M, Nishiyama J, Kuroda K. Intraoperative MR Imaging during Glioma Resection. *Magn Reson Med Sci*. 2022;21(1):148-67.
- (6) Kuroda K, Yatsushiro S. New Insights into MR Safety for Implantable Medical Devices. *Magn Reson Med Sci*. 2022;21(1):110-31.
- (7) Yatsushiro S, Sunohara S, Tokushima T, et al. Characterization of Cardiac- and Respiratory-driven Cerebrospinal Fluid Motions Using a Correlation Mapping Technique Based on Asynchronous Two-dimensional Phase Contrast MR Imaging. *Magn Reson Med Sci*. 2021;20(4):385-95.
- (8) Sunaga A, Sorimachi T, Yatsushiro S, et al. Differentiation between ICA and ECA Feeder Distributions in Meningioma Using MR Perfusion Original Image. *Tokai J Exp Clin Med*. 2021;46(4):166-71.
- (9) Shibukawa S, Niwa T, Miyati T et al. Temperature measurement of intracranial cerebrospinal fluid using second-order motion compensation diffusion tensor imaging. *Phys Med Biol*. 2021;66(24).
- (10) Sakakibara Y, Yatsushiro S, Konta N, et al. Respiratory-driven Cyclic Cerebrospinal Fluid Motion in the Intracranial Cavity on Magnetic Resonance Imaging: Insights into the Pathophysiology of Neurofluid Dysfunction. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2021;61(12):711-20.
- (11) Ohguri T, Kuroda K, Yahara K, et al. Optimization of the Clinical Setting Using Numerical Simulations of the Electromagnetic Field in an Obese Patient Model for Deep Regional Hyperthermia of an 8 MHz Radiofrequency Capacitively Coupled Device in the Pelvis. *Cancers (Basel)*. 2021;13(5):979-90.
- (12) Horie H, Kajihara N, Saito H, et al. Visualization of cerebrospinal fluid motion of whole brain using 3-dimensional dynamic improved motion-sensitized driven-equilibrium steady-state free precession. *Magn Reson Med Sci*. 2021;20(1):112-8.
- (13) Kokuryo D, Kumamoto E, Kuroda K. Recent technological advancements in thermometry (IF = 13.3). *Adv Drug Deliv Rev*. 2020;163-164:19-39.
- (14) Takizawa K, Matsumae M, Hayashi N, et al. The Choroid Plexus of the Lateral Ventricle As the Origin of CSF Pulsation Is Questionable. *Neurol Med Chir*. 2018 Jan 15;58(1):23-31.
- (15) Kuroda K. MR techniques for guiding high-intensity focused ultrasound (HIFU) treatments. *J Magn Reson Imag*. 2018 Feb;47(2):316-31.
- (16) Yatsushiro S, Sunohara S, Hayashi N, et al. Cardiac-driven Pulsatile Motion of Intracranial Cerebrospinal Fluid Visualized based on a Correlation Mapping Technique. *Magn Reson Med Sci*. 2018;17(2):151-60.
- (17) Matsumae M, Kuroda K, Yatsushiro S, et al. Changing the Currently Held Concept of Cerebrospinal Fluid Dynamics Based on Shared Findings of Cerebrospinal Fluid Motion in the Cranial Cavity Using Various Types of Magnetic Resonance Imaging Techniques. *Neurol Med Chir* 2018;59(4):133-46.

研究室紹介：高雄研究室における学生たちによる最近の研究の紹介

高雄 元晴*

Introduction of Recent Studies by Students in Takao's Lab.

by

Motoharu TAKAO

(Received on Dec. 7, 2023 & accepted on Jan. 9, 2024)

1. はじめに

2005年に大学共同利用機関法人自然科学研究機構・基礎生物学研究所（愛知県岡崎市）から東海大学情報理工学部（当時は電子情報学部）情報科学科に筆者は赴任した。早くもその年の秋には、2名の卒研を指導することになり、彼らとともに行った研究成果は、米国の歴史ある国際誌に掲載された（Takao et al. 2007）。その後も本学科に在学した200名以上の学部学生に、4年間の学びの総決算ともいえる卒業研究の場として高雄研究室を選んでもらうとともに、60名以上の学生たちが学究を深めるべく修士課程、さらに2名が博士課程に進学した。また、情報科学科の学生のみならず、文理を問わず他学部他学科の学生たち、さらに他大学の学生たちにも学究の場を提供してきた。本稿では高雄研究室において、学生たちが精魂を傾けて実験を行うとともに原著論文としてまとめ公表した最近の研究を紹介する。

2. 右視野は異なる色の検出に有利である：ディスプレイ上のデジタルグラフィックの適切な配置への示唆（Kawashima et al. 2023）

これまでの研究から、視野の位置が視覚課題に及ぼす影響が明らかになってきている。これらの視野におけるバイアスを考慮することにより、効果的なCAD（コンピュータ支援設計）の設計図を描いたり、よりわかりやすいデジタルグラフィックスのデザインの作成が可能になることが期待される。本研究では、コンピュータディスプレイ上に表示された異なる色と同じ色の線を識別する際の視野の位置によるバイアスについて実験的に検討した。実験結果から、左視野に比べて右視野は、提示された色の違いを識別に有利であることが示された。

3. 顔パーツの短期記憶に対する視野の影響（川島ら 2023）

これまでの研究から、顔のパーツ（口、鼻、目、耳など）が描かれた写真グラフの短期記憶では、視野による偏りは観察されなかった。しかし、他の多くの種類の視覚的対象物の認識には、視覚による偏りが存在することが知られている。本研究では、顔のパーツを簡略化したイラストを用いて、顔パーツの特

性の複雑性にかかわらず、このような偏りの存在について検討した。その結果この無関係性を実証した。一方、耳や鼻よりも目のイラストの方が有意に速く検出されることを見出すことができた。

4. 色を視覚刺激とした心的回転における回転非対称性の検討（林ら 2023）

文字や図形を心的回転させるメカニズムについて、これまで多くの研究がなされてきた。しかし、色配列に考慮した研究はされてこなかった。本研究では色配列に関して、他の視覚刺激にて観察されるような心的回転の方向依存性は確認されなかったが、心的回転そのものが色配置の認識能を低下させる性質を有することを明らかにすることができた。

5. 色を意味する漢字の照合時のストループ干渉における認識バイアスの研究（Kawashima et al. 2022）

ヒトが新奇で複雑な環境に適応するには、認知的コントロールを行うことが必須である。ストループ効果は、言葉や文字のイメージの色から認識される色情報とその意味が一致しない場合、ヒトはその情報を直感的に理解することができず、正しく理解することが難しくなる現象を指す。これまで日本語に関するストループ効果に関する研究は、主に刺激となる文字体系（漢字と仮名）や脳の処理部位の違いに焦点が当てられており、色の詳細な違いに関する研究は行われていなかった。日本語には2つの文字体系がある。漢字は意味を表す漢字であり、仮名は音節音を表す仮名である。そこで本研究では、3原色（赤、青、緑）と無彩色（灰色）の文字色を用いた視覚刺激を用いて、ストループ課題の短期記憶色彩テストを行った。その結果、期待されたストループ効果は確認されず、一致条件では不一致条件よりも有意に応答の正確性が低いことが示された。

6. 色の短期記憶に及ぼす視覚刺激提示視野の影響（川島ら 2021）

本研究では、視覚刺激提示位置の短期記憶において色配置の不一致の認識に及ぼす影響を検討した。実験課題において、色刺激のマッチングの成績に及ぼす視覚刺激位置の違いによる効

* 東海大学情報理工学部情報科学科

果を比較検討したところ、色刺激のミスマッチを認識する際の正答率は、右視野に視覚刺激を提示した方が上下視野よりも統計学的に有意に向上した。これまで、色や形、文字の種類などの視覚刺激について検討した研究では、一貫した結果は報告されていない。本研究では、色の不一致の認識精度において右視野が優れていることを初めて明らかにした。

7. バーチャルリアリティディスプレイを用いたショッピング街の夜景評価 (Ishii & Takao 2021)

商店街の夜景は、ビジネスの上でも顧客の安全性確保の点でも重要である。これまで、研究者やデザイナーは、街路に被験者に実際に立ってもらって夜景を主観的に評価してきた。しかし、天候や交通量が刻々と変化するため、外部環境をコントロールすることは難しい。現在では、バーチャルリアリティ (VR) 技術により、ほぼすべての環境を再現することができる。本研究では、日本最大の繁華街である東京秋葉原の夜景をシミュレートし、CG を用いて街路照明の色温度を変化させた。被験者は、ヘッドマウントディスプレイを装着した状態で CG を観察した印象に基づいて主観的評価を行った。その結果、VR 夜景の主観的評価結果は、過去に実施された実際の環境におけるそれと一致した。以上より、VR 技術は、模擬夜景の評価や都市計画に利用できることがわかった。

8. バーチャルゲーム遂行時における没頭感と瞬目数の増減は関連する (Ishiguro et al. 2019)

バーチャルリアリティ (VR) 技術は、かつてない没入感と臨場感をプレイヤーに提供する。VR 環境における没入体験には、空間的プレゼンスが重要な役割を果たす。空間的臨場感とは、表示された環境における個人的かつ物理的な臨場感の特別な感覚である。本研究では、VR シューティングゲームにおいて、一人称視点 (1PP) は三人称視点 (3PP) に比べ、空間的臨場感および没入感を高めることを明らかにした。さらに、瞬目率は 1PP の方が 3PP よりも統計学的に有意に高かった。VR シューティングゲームにおいて 1PP は 3PP よりも臨場感があるため、被験者の没入感を高め、まばたきを促進したと考えられた。これらの結果は、空間的な臨場感によってまばたき回数が増加することを示しており、VR 環境における主観的な没入感を測る良い指標となりうる。神経科学的な証拠から、ドーパミン系がこのような感情体験や生理的反応に関与していることが示唆される。

9. 終わりに

以上、この 5 年間に学生たちが筆頭著者となった 8 つの原著論文を紹介した。研究特に実験的研究は、科学的疑問の提起、その理由を説明するための仮説の立案、仮説の検証のための実験計画立案、実験、解析、新たな発見。そしてそこから新たな科学的疑問の提起、またその疑問を説明するための仮説検証すなわち実験というループを永遠と繰り返す。この気が遠くなるようなプロセスを通して、創造主が創りたもうた自然の原理を研究者は少しずつ眼にすることになる (Kittel et al., 2017)。この自然の原理の一端を世界で初めて目にした喜びは研究者と

して何にも変え難いものである。

さらに実験研究の途上で時として予想もしなかった発見をすることもある。これこそ人智の及ばない創造主が設計した自然の原理の深淵であり、選ばれてこの発見の瞬間を与えられた幸運に感謝の言葉を思わず口にしてしまう。このように実験研究を通じて、自ら立案計画し検証するダイナミックさを体感し、新たな自然の原理を発見した時の無常の喜びに心震える体験を学生たちにこれからもして欲しいと指導教員として強く思う。

引用文献

- 1) M. Takao, N. Ishihara, T. Mori (2007) Morning-evening type and stress-related personality in Japanese college students. *Percept Motor Skills*, 104: 687-690.
- 2) S. Kawashima, S. Komiya, M. Hattori, M. Takao (2023) Right visual field is advantageous in detecting different color: an implication for appropriate arrangement of digital graphics on a display. *Neuroergonom Cog Eng* 102: 224-231.
- 3) 川島 淨子, 陳 麗, 肖 子喆, 高雄 元晴 (2023) 顔パーツの短期記憶に対する視野の影響. *日本生理人類学会誌* 28: 35-43.
- 4) 林 良輔, 齋藤 友海, 山下 弘樹, 川島 淨子, 高雄 元晴 (2023) 色を視覚刺激とした心的回転における回転非対称性の検討. *日本生理人類学会誌* 28: 1-9.
- 5) S. Kawashima, M. Takao, S. Yu, Q. Feng (2022) The color recognition bias in Stroop interference in kanji letter matching task. *Proceedings of IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) 2022*: 897-900.
- 6) 川島 淨子, 島田 真聖, 林 良輔, 高雄 元晴 (2021) 色の短期記憶に及ぼす視覚刺激提示視野の影響. *日本生理人類学会誌* 26: 47-53.
- 7) W. Ishii, M. Takao (2021) Nightscape assessment of shopping district in a virtual reality display. *Proceedings of IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech) 2021*: 114-116.
- 8) T. Ishiguro, C. Suzuki, H. Nakakoji, Y. Funagira, M. Takao (2019) Immersive experience influences eye blink rate during virtual reality gaming. *Pol Psychol Bull* 50: 49-53.
- 9) R. Kittel, K. Elliger, W. Rudolph Eds. (2017) *Biblia Hebraica Stuttgartensia*. Fortress Press (Minneapolis, MN, USA)

研究室紹介： 近年における大気環境観測研究（中島研究室） 中島 孝*

Introductory Article: Recent activities on the atmospheric environmental observations (Nakajima Laboratory)

by

Takashi Y. Nakajima*

(Received on Dec. 5, 2023 & accepted on Jan. 9, 2024)

Abstract: *The recent activities and research topics of Nakajima Laboratory are summarized in this article. Since 2005, we have conducted atmospheric environmental research using Earth-observing satellites and ground validation sites. These results were achieved through collaboration with over 130 undergraduate students, 5 graduate students, 1 doctoral student, and 9 postdoctoral fellows, as well as collaborative researchers from other universities and research institutes.*

Keywords: *Climate Change, Meteorology, Atmospheric remote-sensing*

1. 研究分野

中島研究室は、現在の地球環境、未来の地球環境に大いなる興味を持ち、各種観測とプロセス研究の両面から地球システムの謎に迫っている。研究においては、地球観測衛星、衛星搭載センサー、データ処理アルゴリズム、処理データの分析、データ検証などで多くの情報技術と密接にリンクしていることが特徴であり、中島研究室の研究スタンスをひとことていうと「最新の情報機器と情報技術を用いて、地球について調べてみよう」となる。地球の科学のなかでも、雲やエアロゾルなどの大気現象、およびそれらの物質の存在濃度の違いによる地球のエネルギー収支が専門である。

中島が地球について調べることになったきっかけは、純粋な科学的な興味、そして近年問題になっている気候変動である。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第6次報告書で明記されたように、近年の地球温暖化傾向は明確であり、さらに「人間の影響が大気・海洋・陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」とされた。2023 年北半球夏季に記録的な高温となったことは記憶に新しい。アントニオ・グレーテス国連事務総長は「地球温暖化の時代は終わり、地球沸騰化の時代が来た」と2023 年 7 月に述べた。もちろん、私達が直面している危機がより現実的な危機になっていることを警告する言葉である。中島研究室では、せまりくる危機を正確に捉えて理解しながら、それでも人類は賢く、かならずや何らかの解決策を見つかることができるであろう、という強い希望をもち、多くの仲間の研究者や学生らとともに日々の研究を行っている。

2. 研究室運営方針

いわずもがな、大学の研究は研究代表者の教員がひとりではできないものではない。中島研究室は、北は北海道大学、南は九州大学などの研究者らとも共同で研究を行っている。研究に必要な資金については、科学研究費補助金（科研費）のほか、宇宙航空研究開発機構からの委託研究や共同研究、さらに科学技術振興機構からの研究費などが主である。東海大学附置研究所のひとつである情報技術センター（TRIC）とも連携し、精力的に研究を実施している。

2023 年度における学内の研究スタッフは、ポストドクター（特定研究員）1 名、王敏睿氏、博士課程の学生 1 名、ウォンニム・パヌウォン氏、修士の学生 2 名、清水完太氏、村松祐人氏である。その他に、学部生として 4 年生と 3 年生それぞれ 10 名が中島研究室に所属している。研究室の運営としては、研究に関するノウハウのスムーズな継承と連携を重視し、ポストドクターと博士課程の学生、博士課程の学生と修士課程の学生、修士課程の学生と学部の学生の間でのコミュニケーションが十分に図られるように工夫を行っている。例えば、学部の学生が約 10 年前に始めた全天雲カメラによる衛星雲量の検証については、修士の学生がより高度化と精緻化をほどこし、さらにポストド自らがかわる JAXA 衛星プロジェクトで技術をブラッシュアップして実用化し、実際の衛星データの検証で使用するなどの垂直展開の事例が出てきている。研究の水平展開、垂直展開はそれなりに手間と時間がかかることではあるが、まずは地道に研究を継続することが大切である。

* 東海大学情報理工学部情報科学科

3. 研究成果

現在中島研究室で実施している研究は、ポストドクターの研究テーマ、博士課程学生の研究テーマ、修士課程学生2名それぞれの研究テーマ、さらに学部学生の研究テーマが5-6種と多岐にわたる。そのなかから、雲の成長過程に関する研究と、ソーラーカーシミュレーターに関する研究について記述してみたい。

3.1. 雲の成長過程に関する研究

本研究課題は、中島研究室の根幹となる課題である。気候変動研究や地球温暖化予測における最大の不確定要素（＝未解決事項）は、雲とエアロゾルの相互作用である。ひとことでいうと、我々人類は大気中の雲とエアロゾルについての理解が不足している。本研究課題で主に用いているのは、地球観測衛星に搭載された雲レーダーと可視赤外イメージャーである。2010年に発表した2本の論文では、これらの2つのセンサーを組み合わせる統計解析を行うことで、雲の成長過程を可視化することに成功した（Nakajima et al. 2010a, 2010b, JAS）。2021年からは、7年分のデータ解析をもとに、雲成長過程の地域依存性についての研究を行い、研究成果を発表してきた（Matsumoto et al, 2023, SOLA）。本研究課題で従来使用してきたデータはNASAが構築したA-Train観測システムにおけるCloudSat衛星/CPR(雲レーダー)、Aqua衛星/MODIS（可視赤外センサー）であるが、2024年度に、日欧共同ミッションであるEarthCARE（アースケア）衛星が打ち上げられる予定である。中島研究室のポストドクである王敏睿氏はEarthCARE衛星のデータ解析を担当しており、今後の活躍が期待される。

3.2. ソーラーカーシミュレーターに関する研究

本研究課題は中島研究室が推進する研究成果のスピコンオプ的な課題である。すなわち、雲やエアロゾルの研究を通じて、地球におけるエネルギーの出入りが計算できるわけであるが、これは地上で活用できる再生可能エネルギーを精度良く見積もることが可能であることを意味する。再生可能エネルギー活用の筆頭のひとつは、ソーラーカーであろう。東海大学のソーラーカーチームは強豪である。隔年開催される豪州縦断ソーラーカーレースに出場する東海大学ソーラーカーチームを地球情報の提供で支援している。さらに、MATLABを使用してソーラーカー走行シミュレーターを構築し、効率的な走行方法や、大気状態と発電量の関係の調査などを行っている。2023年10月に開催されたBWSC2023豪州縦断レースにおいても支援活動を行った。そのときは理学研究科、情報理工学部情報科学科、理学部数学科に所属する8名の学生が湘南校舎19号館に設置された「湘南支援基地」に輪番で張り付いて、レース中の現地チームに対して日射量の推移や気象情報を届ける作業を行った。

3.3. 過去から現在までの主な研究

■非球形散乱粒子による電磁波散乱（2005－2010）

地球大気成分によるエネルギーの計算は、ひとつの散乱粒子（雲粒など）による光の散乱解を得ることがスタート地点である。マクスウェル方程式から導かれる方程式系をもとに散乱解をもとめることが可能である。そのための解析計算プログラムSIEMMを開発した。SIEMMの計算量は膨大で、1ケースの散乱計算に3日間かかることもある。高速化作業が残されている。

■雲の成長過程の研究（2006－現在）

雲粒がエアロゾルを凝結核として成長することは教科書レベルでは説明されており、世間でもよく知られている。しかしながら実際の大气中での雲粒成長や振る舞いについて我々はまだ完全には理解していない。そのため、衛星観測を用いて雲成長過程を可視化する研究を実施している。

■JST, CREST 研究（2012－2020）

科学技術振興機構（JST）のCREST研究課題として、再生可能エネルギーの活用とエネルギー需要に関する研究を実施した。CRESTでは中島は最強チームリーダーとして約50名の研究者を牽引した。得られた研究成果は原著論文137編、学会発表646編、受賞13件、報道150件、ワークショップ等の開催61回であった。

■EarthCARE/MSIのアルゴリズム開発（2012－現在）

JAXAと欧州宇宙機関（ESA）が共同開発中のEarthCARE衛星搭載MSIセンサー用の雲特性解析アルゴリズムの開発を行っている。本衛星は2024年中頃に打上げられる予定である。打ち上げ後は、得られた物理量の検証作業を開始する予定である。

■GCOM-C/SGLIのアルゴリズム開発（2013－現在）

JAXAが2017年に打ち上げたGCOM-C衛星搭載SGLIセンサー用の雲特性解析アルゴリズムの開発を行った。さらに、解析で得られた大気物理量の検証作業を実施している。GCOM-C衛星は運用開始から5年を経過し後期運用フェーズに入ったものの、衛星の健康状態は良好で、さらに長期の観測が可能と見られ、気候変動研究に貢献する。

付録

研究室統計（2005-2023）

学部学生 130名
修士学生 5名
博士学生 1名
PD研究員 9名
(以上、延べ人数)

発行文献数 122編
被引用数 3677回
h-index 30
(以上、Scopusによる。2023/12/5調査)



量子技術に関する情報科学科としての取り組み および牧野研究室の研究紹介

牧野 浩典*

Introduction of Makino laboratory

by

Hironori Makino

(Received on Jan. 11, 2024 & accepted on Jan. 12, 2024)

Abstract

This paper describes education and research related to the quantum technology in our department, followed by an introduction to current research topics in Makino laboratory.

Keywords: Quantum Computing, Quantum Annealing

はじめに

量子論の誕生から100年、情報科学は量子論を取り込んだ複合的な学問領域へと発展しました。量子コンピュータや量子テレポーションなど、量子力学の原理を応用した情報技術の研究が世界各国で活発になり、近年では組合せ最適化問題を高速に処理できる量子アニーリング方式のコンピュータや、原理的に破ることのできない量子暗号プロトコルが話題になっています。こうした現在の潮流は、量子論を基盤とする情報科学の新展開が、近い将来に情報化社会の基幹技術を生み出す可能性を示しています。本研究室ではこのような量子技術を支える基礎研究と応用研究をテーマに据え、教育と研究を行っています。特に力を入れて指導しているのは量子アニーリング方式の量子コンピュータで、組み合わせ最適化問題に対する応用手段が確立しています。この方式のコンピュータについてはカナダのD-Wave 社が開発途上の実験機 D-Wave Leap を公開しており、所定の手続きを行えば現在は誰でも利用することができます。

本稿では教育と研究の2つの側面から量子技術に関する情報科学科としての取り組みを紹介します。

本学科における量子コンピュータ教育

情報科学科の学生が量子技術を学ぶ最初の機会は3年次春学期に開講される主専攻科目の「情報数理工学」で、ここでは量子コンピュータの理解に必要な量子論の基礎と量子イジング模型について理解を深めます。続く秋学期の「情報科学ゼミナール」では量子アニーリング方式の発案者である東京工業大学・西森教授らが執筆した専門書を通読し、量子コンピュータの計算原理に関する理論的な知識を身に着けます¹⁾。研究室に入る4年次の春学期では「卒業研究1」の中で、量子コンピュータの計算過程を模擬したシミュレータの構築方法を修得し、実際に手を動かし、構築したシミュレータの動作確認を行います。

より具体的には Python などのプログラミング言語を用いてワークステーション上に量子アニーリングの仮想実行環境を展開し、ごく簡単な事例に対する仮想計算の結果を評価します。続く秋学期の「卒業研究2」では構築したシミュレータを既存の情報処理問題（巡回セールスマン問題やコミュニティ分割問題など）に適用、ノイズの影響を排除した理想的な量子コンピュータの挙動について理解を深めます。

この段階までで、学生は量子論に関する高度な専門知識と、シミュレーションを遂行するために必要な高度なプログラミング技能を身につけることができます。しかし、これだけで飽き足らない学生も多く、日々の研究の中で量子コンピュータを様々な専門分野に導入したり、実験機 D-Wave Leap 上での運用の可能性を評価するなど、実際の活用方法を意識し始めるようになります。専門的な研究を行うには大学院に進学しなければなりません。

大学院では1年次春学期に開講される「基礎物理学特論」にて、量子暗号と量子テレポーションに関する理論的な知識を修得します。また、「研究ゼミナール」において、量子アニーリングや量子状態の制御に関するより専門性の高い研究を行います。以下では研究室で大学院生が取り組んでいる幾つかの研究事例を紹介します。

最適解の検出頻度を向上させる リバース・アニーリング法

量子コンピュータの活用にはハミルトニアンと呼ばれるエネルギー演算子を個々の計算問題に応じて設計する必要があります。この設計においては、計算を安定させ、最適解の検出精度を向上させるノウハウを得ることが重要なテーマとなっています。前者はハミルトニアンに付加するペナルティ項の適切な与え方に関する研究で、国内外の研究者によって数多くの知見が積み上げられています。後者については、近年リバース・ア

ーリングと呼ばれる方法が考案され、解の精度が著しく向上することが話題になっています²⁾。

リバース・アニーリングとは量子コンピュータが通常のアニーリングによる計算過程を終えた後に行う補助的な計算過程です。通常のアニーリングでは最適解への確率的遷移が不十分な場合に、大きな効果を発揮することが確かめられています。通常の計算過程を終えた量子コンピュータのイジングスピンに対して、逆向きのエルミート変換を施すことで、計算過程をいったん途中段階に戻し、一定時間を経た後に順方向のエルミート変換で再び終状態に戻します。このような補助的な過程を付加することで確率的遷移が促進され、最適解の検出確率が著しく向上することが現象論的に示されています。ただし、検出確率の向上に対する理論的な裏付けはなく、現時点では緒についたばかりの研究テーマといえます。本研究の目的はシミュレータを用いて、リバース・アニーリングの効果を最大限引き出す条件を明らかにすることです。

ダイナミカルな性質を利用し 量子素子内の電子の運動を制御する

量子細線の加工技術が進歩し、現在は量子コンピュータで用いる基本素子をナノメートル・オーダーのスケールで設計することが可能です。このような素子では量子効果が強く働き、量子力学的な「重ね合わせの原理」を利用した情報処理が可能になります。現在、商用化が実現している D-Wave 社のコンピュータでは重ね合わせの原理の基づく情報処理が行われており、ある種の組み合わせ最適化問題を従来のコンピュータよりも高速に解くことが可能になっています。ただし、量子力学的なスケールの素子を用いた制御は現在の技術水準では難しく、代わりに同社のコンピュータには超伝導固体素子とジョセフソン接合の組み合わせで実現したマクロスケールの量子ビットが導入されています。この量子ビットに本来必要とされる量子効果が正しく働いているのかは、実のところまだ明らかになっていません。

本研究の目的は将来実現が期待されているミクロスケールの量子ビットにおいて、内部を流れる電子の挙動を理論的に制御する方法を確立することです。共鳴トンネル効果の一種である Chaos-assisted tunnelling を利用し、量子ビット内の電子の運動状態を強制的に変化させることで、これを実現したいと考えています。この方法は量子ビットに横磁場を印加する従来法と異なるアプローチですので、研究が進めばメリット・デメリットがより明らかになるものと期待しています。

量子シェル効果を利用した新しい分岐解析

われわれの社会の諸問題、交通流、経済、ウィルス感染者数、気象現象、心拍などは一定の規則に従って状態が変化することから力学系と見立てることができ、これまで様々な数理モデルが提案されてきました。分岐解析はこうした数理モデルにおける解挙動の理解・制御・予測・最適化のための重要な手段となり、諸問題の解決に繋がる様々な知見を提供しています。分岐解析についてはニュートン・ラプソン法のような目的関数の微係数を評価する方法が古くから知られていますが、目的関数が複雑な場合に解の探索に膨大な時間を要する事が問題となって

いました。この問題に対応するため、近年では数理最適化分野で生み出された PSO (粒子群最適化) や DE (差分進化)、ES (進化戦略) などメタヒューリスティックな方法にも注目が集まっており、目的関数の性質を問わない広範囲の力学系に対応できるようになっています。しかし、いずれにしても力学系の目的関数に頼るため、関数自体が容易に得られない非線形力学系では分岐点群の求解は困難でした。

本研究では量子化則を適用できる力学系に対し、量子系の準位統計の性質を利用して分岐点や固定点の位置などの推定値を与える新しい分岐解析法の実現を目指しています。分岐点上で起こる量子シェル効果と呼ばれる現象に注目することが、これを可能にする糸口を与えています³⁾。

量子アニーリングを利用した デジタルフィルターの瞬時設計

量子コンピュータは現在物理分野への応用が先行しており、工学分野では限られた領域で研究されています。しかしながら、組み合わせ最適化を瞬時に解くことのできる性質が工学分野に広まり利用されれば、革新的なブレイクスルーを起こす可能性があります。本研究の目的は CSD 係数を用いたデジタルフィルターの瞬時設計を量子アニーリングを利用して実現することです。

デジタル信号処理は工学分野における基盤的技術としての地位を確立しており、特にデジタルフィルターは観測信号に重畳されたノイズを除去したり、信号を変換したりと様々な目的に用いられています。フィルターの実装には大量の乗算器が必要となりますが、高性能なフィルターほどその傾向が強く、実装コストが高くなる傾向にあります。この問題に対しては乗算器に CSD 係数を用いることで回路規模を削減し、コストを抑える方法が示されています。しかしながら、その設計には莫大な計算コストが必要で、組み合わせ最適化問題における求解の難しいクラスに属することが知られています。情報科学科の高橋智博先生との共同研究です。

おわりに

本稿では教育と研究の2つの側面から量子技術に関する情報科学科としての取り組みを紹介し、加えて牧野研究室で目下進行中の研究テーマを紹介しました。近い将来より実用性が増すことが期待されている量子技術ですが、情報科学科に入学してくる学生の間でも、量子コンピュータなど量子技術に興味を持つ学生数は年々増加の一途を辿っています。一方で、この分野に精通した研究者・技術者は国内外において極めて少ないのが現状で、こうした状況を解決する事は教育機関に託された一つの大きな使命だと考えています。

参考文献

- 1) 西森秀稔, 大関真之, 「量子アニーリングの基礎」 共立出版
- 2) D-wave white paper series, “Reverse Quantum Annealing for Local Refinement of Solutions.”
- 3) H. Makino, PTEP Volume 2022, Issue 9, 093A02 (2022).

研究室紹介：光を利用して眼から光学部品までを考える

室谷 裕志*

Introductory Article: Using Light to Think from the Eye to Optical Components

by

Hiroshi Murotani*

(Received on Jan. 9, 2024 and accepted on Jan. 10, 2024)

Abstract

Our laboratory is researching the keyword "Utilization of Light." The research field is wide from optical devices and optical components to the eye. The core technologies for this research are the optical thin film deposition and evaluation technologies developed in our laboratory. In the future, we would like to expand our research by adding the keyword "Information."

Keywords: Optical Thin Films, Visual inspection, Sports Vision, Barrier-free of color vision

1. はじめに

著者は 2021 年度まで工学部光・画像工学科に所属していたが、工学部の改組に伴い 2022 年度より情報理工学部情報科学科の一員となった。本研究室では以前より「光の利用」をキーワードに研究を行ってきた。これらの研究の多くは実用化を求められる企業との共同研究であるとともに、著者が企業で勤務していたとき疑問に思いつつも解決できていない課題が出発点となったものでもある。

本研究室の研究内容は大きく分けて光を制御するデバイスや部品に関わる分野、目視検査に代表される感性工学に関わる分野、スポーツビジョンなどの視機能に関わる分野の 3 分野である。本稿ではこれら 3 分野の代表的な研究内容について紹介する。

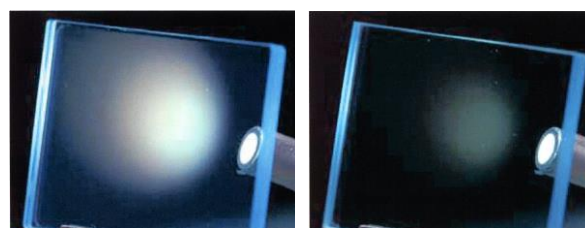
2. デジタルカメラの画質の改善に寄与する技術

2.1 引き締まった黒を再現する

1990 年代初めの頃からムービーやスチールカメラの電子化が本格的に始まる。電子化が始まると銀塩の時にはユーザーが簡単にできなかった高感度（暗所）での撮影や高い拡大率での印刷が行われるようになった。このためカメラの光学系の高性能化が急務となった。企業勤務時代から課題であった「引き締まった黒」の再現について、フレアやゴーストの低減と言う切り口で取り組んだ。具体的には光学系に用いられている光学薄膜の光散乱の低減である。光学薄膜の成膜条件・成膜手法を検討することにより、従来の 10 分の 1 以下に低減することに成功し、市販されるカメラにも利用された（図 1）。

この課題は近年の自動車の自動運転用の光学系では更

に厳しい要求となり、従来の手法だけでは課題の解決が難しい。そのため成膜プロセスから開発を行い新成膜手法の開発に成功し、製品化につながっている¹⁻³⁾。



(a)改善前の光学薄膜

(b)改善後の光学薄膜

図 1 引き締まった黒を再現するための低光散乱損失光学薄膜

2.2 測れないものは作れない

引き締まった黒を再現するための成膜技術の研究を行っていくなかで、従来の測定手法で低光散乱損失の光学薄膜を簡便に高精度で測定することが難しくなった。そのために、「測れないものは作れない」ために測定手法についても検討を行った。その結果、研究室のデータをもとにして企業や業界団体と協力して ISO 規格 ISO19962(2019):Spectroscopic measurement methods for integrated scattering by plane parallel optical elements を策定した。また、車載部品においては耐環境性の問題が関わってくる。そのため、測定についても JIS R 1694:2012 ファインセラミックス薄膜の湿度環境下における分光透過率の測定方法, JIS R 1698:2015 ファインセラミックス薄膜の湿度環境下における分光反射率の測定方法などの JIS 規格策定に関わってきた。特にこの耐環境性は車載や人の入れない環境において眼の代わりになる光センサーなどでますます重要になってきており、製造技術の高

* 情報理工学部情報科学科

度化と測定技術の検討が研究室のテーマの一つである。

3. 人の見るの能力を機械化する

3.1 目視検査環境の適正化

人は目視検査環境が適正ならば、 $10\sim 20\mu\text{m}$ の大きさをそれほどの訓練がなくても大きさとして認識することができる。さらに、欠陥の有無の判別だけなら $5\mu\text{m}$ 以下のものまで可能である。また、目視検査は検査対象の形状、表面状態、材質などが変わっても柔軟に対応できることや検査規格の変更などにも簡単に対応できる。このような特長のある目視検査はその実施環境の適正化が要点となる。例えば照明方法が変わるだけで見やすい欠陥が変わる(図2)。さらに周辺視や中心視の特性、作業空間の照明や壁の配色なども検査結果に影響する。これらについて企業と共同で検討して現場での検査環境の構築を行っている。



(a) 点光源による照明 (b) 面光源による照明

図2 目視検査における照明方法と欠陥の見え方

3.2 真珠の輝きを評価する

真珠の輝きは光学干渉、光の吸収などの複合的な光学現象により得られているが詳しい仕組みは解明されていない。図3の中央の瓶に入っている真珠は装飾品としての価値があり、それ以外は価値のないものである。これら真珠の評価は全数を目視検査で行われている。これを機械化することが望まれているが従来の手法では評価が難しい。本研究室では真珠の輝きの仕組みと検査方法について企業と共同研究を行っている。



図3 真珠の輝き

4. 見る能力

4.1 スポーツビジョン

オープンスキル系のスポーツやeスポーツなどにおいて、ものを見る能力とそれを反映する身体能力が必要である。図4に東海大学の軟式テニス部において全国大会

上位の成績の選手と県大会下位の選手のスポーツビジョンの評価結果を示す。眼の能力が成績の良し悪しに直結する訳ではないが相関は認められる。また、最近の研究室の研究において、eスポーツにおける普段使用するディスプレイの大きさが眼の動かし方に影響を与えることも分かってきた。本研究室ではスポーツにおける眼の能力の特性評価とその能力の向上方法も含めて研究を行っている。

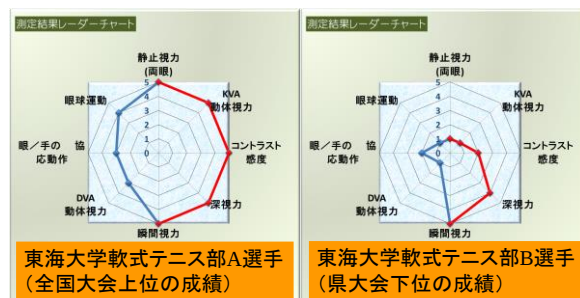


図4 スポーツビジョンの成績と戦績

4.2 色のバリアフリー

色覚は眼から多くの情報を取り入れる人間にとって重要な感覚である。しかし、色覚異常は男性の5%(20人に1人)にあり、色のバリアフリー化が求められている。また、色覚異常とまではいえないが目視検査において色相の差の少ないものの弁別能力が低い人がいる。本研究室としては開発した光学薄膜技術を用いて色の弁別能力を補助する眼鏡の研究に取り組んでいる。

5. おわりに

本研究室では「光を利用する」ことをキーワードに、光デバイス・光部品から眼までの広い分野で研究を行っている。そのコアとなる技術が研究室で開発した光学薄膜の成膜技術と評価技術である。今後は情報というキーワードを加えて今までの研究を発展させたいと考えている。

参考文献

- 1) 東海大学, ファインクリスタル, シンクロン: 特許JP5901571(2016).
- 2) Tajima Naoya, Murotani Hiroshi, Matsudaira Takayuki: Optical multicoating using low-refractive-index SiO_2 optical thin films deposited by sputtering and electron beam evaporation, Thin Solid Films Vol.776, Article No. 139824(2023).
- 3) Mutsuki Ito, Naoya Tajima, Hiroshi Murotani, Takayuki Matsudaira: Super Hydrophilic Low Refractive Index SiO_2 Optical Thin Films Deposited by Using a Combination Coating Method, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, DOI: <https://doi.org/10.1380/ejssnt.2023-057>

進化型計算に関する研究事例紹介

染谷 博司*

Studies on Evolutionary Computation in Someya Laboratory

by

Hiroshi Someya*

(Received on Jan. 8, 2024 & accepted on Jan. 9, 2024)

Abstract

Someya laboratory is engaged in studies on evolutionary computation and stochastic optimization. In this article, research projects of our laboratory are summarized. The applications are synthesizer parameter optimization, essential oil blending, evolutionary consensus building (ECB) for multi-person menu planning, and ECB for general competitive bidding.

Keywords: evolutionary computation, genetic algorithms, stochastic optimization

1. はじめに

染谷研究室では、進化型計算 (evolutionary computation) を中心とした確率的最適化 (stochastic optimization) の研究に取り組んでいる。進化型計算は、人工知能の工学的技術のひとつとして位置づけられ、近年、ブラックボックス最適化における強力な最適化能力が注目を集めている。本稿では、当研究室にて行われてきた (あるいは現在行われている) 研究課題からいくつかの研究事例を選び紹介する。

2. 研究事例

文献1) では、シンセサイザの音源パラメータを最適化することによるサンプリング音の再現問題に取り組んだ (図1)。また、その派生研究課題である進化的同時最適化に取り組んだ。映画やゲームに用いる効果音などの「音」を得たいとき、もっともシンプルな獲得手法は自然音のサンプリングである。しかし、求める音が見つからない、手間がかかる、高品質な録音には高い機材が必要、などの理由から困難なことがある。これに対して、電子計算機を用いて電子的に生成する方法がある。音波形の直接的な生成を試みることで任意の音を生成可能であり、特殊な音響機材が不要であるなどの利点がある。しかし、その他方、音生成の専門知識や経験が必要であり、望みの音の生成は簡単ではない。そこで本研究課題では、まず、望みの音に近い音をサンプリングによって入手し、次に、これをシンセサイザによって再現し、シンセサイザパラメータを微調整することで望みの音に近づける接近法を提案した。シンセサイザパラメータの最適化には実数値型遺伝的アルゴリズム (real-coded genetic algorithms: RCGAs) を用いるものとした。ただし、RCGAsが必要とする評価関数の定義が新たな難問となった。そこで、これに対する最適化法として、進化的同時最適化法を提案した。

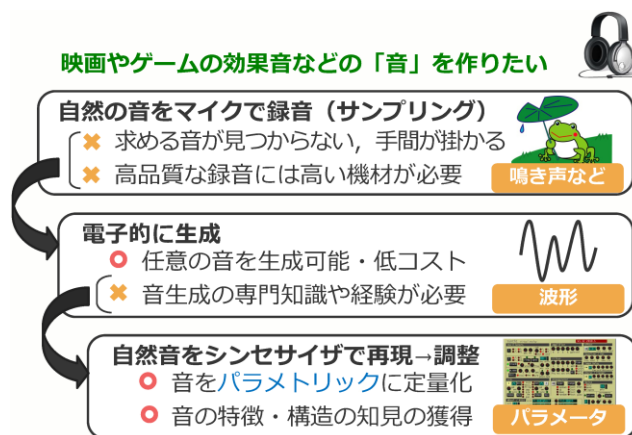


図1：サンプリング音の再現問題

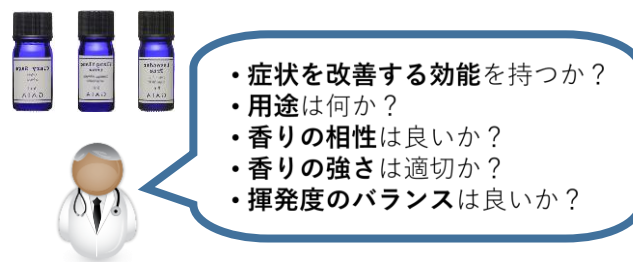


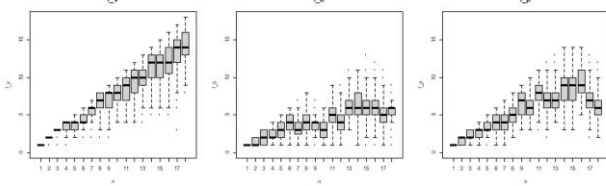
図2：精油調合最適化

文献2) および文献3) では、芳香療法のための精油調合最適化に取り組んだ (図2, 図3)。芳香療法とは、ラベンダーやベルガモットなどの精油を用いた補完代替医療である。精油とは植物の花や葉、果皮、果実、根茎、樹皮などから抽出した揮発性の芳香物質を含む液体香料である。これまで、精油やアロマオイルの利用は好みの香りを芳香することによるリラクゼーションを目的としたものが主であったが、芳香療法の有効性の

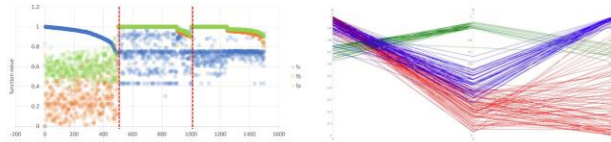
* 東海大学情報理工学部情報科学科

1. Investigation of the characteristics of the essential oil blending problem by single objective optimization

▼ Relationship between the evaluation value by number of essential oils and conditions



▼ Relationship between each evaluation value



► To identify different landscapes and trade-off relationships depending on each condition.

2. Investigation of optimizability and new findings on aroma preparation with NSGA-II

▼ Distribution of pareto solution ▼ Co-occurrence relationship analysis

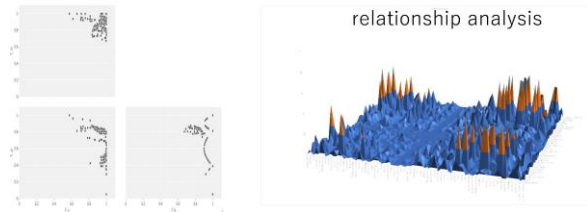


図3：精油調合最適化における数値解析

調査が進むと共に機能改善を目的とした精油の医学的利用への関心が高まっている。本研究課題では、精油調合を最適化問題として定式化し、遺伝的アルゴリズムによる接近を試みた。

文献4)では、献立計画における合意形成問題に取り組んだ(図4)。集団の意思決定において、各構成員それぞれが満足するように集団全体の意思や方向性を決める過程を合意形成と呼ぶ。近年の組織化および複雑化した社会においては、コミュニケーション・ツールや価値観の多様化などにより、合意形成の重要性が増大している。本研究課題では、家族などの複数人と同じ料理を提供する場面を想定し、制約エージェントを導入した合意形成の一手法を提案した。

文献5)では、一般競争入札への参加企業内における合意形成手法を提案した(図5)。入札における提示価格(入札価格)は、予定価格範囲内においてできる限り低い金額を提示することで落札に至る可能性が高まるが、同時に、参加企業内における関係者間で合意を得た実行性のある入札価格である必要がある。このトレードオフ・バランスに関して、遺伝的アルゴリズムを用いた合意形成手法を提案した。

3. おわりに

本稿では、染谷研究室にて実施された4つの研究課題を紹介した。当研究室では、引き続き進化型計算を中心とした研究活動に学生と共に取り組む所存である。

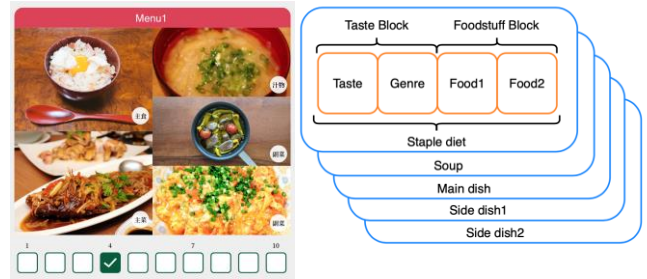


図4：献立計画の合意形成問題

問題設定

発注者の評価モデル

$$P_R = \begin{cases} \infty & (B_0 < B_{L0}) \\ B_0 & (B_{L0} \leq B_0 \leq B_{T0}) \\ \infty & (B_{T0} < B_0) \end{cases}$$

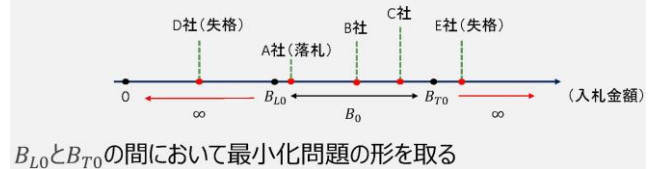


図5：合意形成手法の一般競争入札への適用

謝辞

本稿にて紹介した研究の一部は、科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 25540103, 基盤研究(C) 19K12161, 基盤研究(C) 23K11265の助成によるものである。

参考文献

- 1) 清水 真, 染谷 博司: “複数の独立な評価関数に対する進化的同時最適化”, 第43回知能システムシンポジウム講演論文集, C1-4 (6 pages), 計測自動制御学会 システム・情報部門 (2016)
- 2) 染谷 博司, 幸田 怜: “方向ベクトル集合により表現される解候補の評価関数定式化(招待講演)”, 電気学会研究会資料(システム研究会 講演論文集) ST-22-037, pp. 1-3, 電気学会 電子・情報・システム部門 システム技術委員会(2022)
- 3) Satoshi Koda and Hiroshi Someya: “Computational Optimization of Essential Oil Blending for Aromatherapy by Multi-objective Genetic Algorithm”, Final Program of the Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference 2023 (SICE2023), p. 73, The Society of Instrument and Control Engineers (SICE) (2023)
- 4) 武石 光平, 染谷 博司, 折登 由希子, 加島 智子: “制約エージェントを導入した対話型進化計算による多人数献立計画最適化”, 電気学会論文誌 C 電子・情報・システム部門誌, Vol. 142, No. 6, pp. 691-692 (2022)
- 5) 剣持 星斗, 染谷 博司: “進化計算による合意形成手法の一般競争入札への適用”, 第23回コンピュータ・インテリジェンス研究会講演論文集, pp. 55-60, 計測自動制御学会 システム・情報部門 (2023)

研究室紹介：計算科学から見た生体高分子の世界（日向寺研究室）

日向寺 祥子*

Introductory Article: Computational Analysis of Biomolecular Functions

by

Sachiko Hyugaji *

(Received on Jan. 6, 2024 & accepted on Jan. 9, 2024)

Abstract

Due to COVID-19 pandemic, to design/discover new drugs was recognized as one of the biggest challenges. In Hyugaji Laboratory, we study computational analysis of biological macromolecular functions. We especially insight into the interactions between disease factor proteins and small molecules by using Fragment Molecular Orbital (FMO) calculations, the innovative method that significantly reduces computational costs.

Keywords: computational chemistry, fragment molecular orbital method, biological macromolecule

1 はじめに

2019年に発生し、またたく間に全世界に拡大した新型コロナウイルス感染症への対応を機に、迅速な創薬の重要性が再認識されている。しかしながら、新薬の開発には莫大なコストや時間が必要となるため、より短時間で精密に薬剤を設計できる手法は必要不可欠である。

コンピュータシミュレーションは低コストアプローチとして以前より期待されている手法であるが、高速化のために精度や解析対象数を制限することが一般的で、採用に消極的な創薬の現場も少なくない。

近年の、京や富岳をはじめとしたハイパフォーマンスコンピューティングインフラの拡充や、巨大分子を計算ターゲットとした新たなアルゴリズムの開発により、精密な巨大計算が現実的なものとなっている。

2 フラグメント分子軌道法

分子物性の解析に用いられる分子軌道法は、分子内の電子状態まで取り扱うことができる精密な量子化学計算手法である。一方で、計算対象分子サイズの4乗に比例する計算時間を要するため、生体内現象の主役である生体高分子はタンパク質や核酸などの巨大分子を対象とすることは困難であった。

しかし、北浦らによって開発されたフラグメント分子軌道法（FMO法）では、巨大分子をフラグメントと呼ばれる部分構造に分割して処理することにより分子全体の電子状態解析を高速かつ高精度に実施できるようになった。[1]

タンパク質をフラグメントに分割する方法を図1に示す。この図では、各フラグメントにタンパク質を構成するアミノ酸残

基を1つずつ割り当てる例を紹介する。フラグメント化する際に共有結合を切断する必要があるが、アミノ酸の中心に位置するC α 原子と隣接するアミノ酸のC原子間に存在する共有電子対の電子を2つともC原子側に割り当てる。

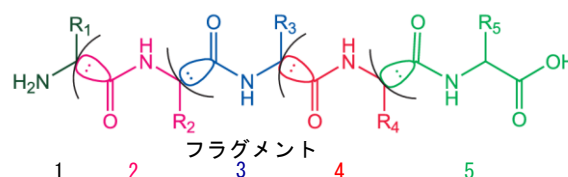


図1 タンパク質のフラグメント分割方法

このようにして分割された各フラグメントモノマーのエネルギー ($E_i, E_j, E_k, \dots$) と、フラグメントダイマーのエネルギー ($E_{ij}, E_{ik}, \dots, E_{jk}, \dots$) を用いて、系全体のエネルギー (E_{total}) は以下のような式で表すことができる。

$$E_{total} = \sum_i E_i + \sum_{i>j} (E_{ij} - E_i - E_j)$$

従来の分子軌道法では分子サイズの4乗のオーダーで計算時間が増大したのに対し、FMO法では2乗オーダーにまで削減することができる。その上、フラグメントモノマーもしくはダイマーごとの計算が独立しており大規模な並列化にも適したアルゴリズムとなっている。このFMO法によって、生体分子をはじめとした巨大分子の電子状態計算が可能となり、様々な分野への応用が加速している。

さらに、FMO計算の過程でフラグメント間の相互作用エネルギー（InterFragment Interaction Energy : IFIE）が求められるため、化合物設計において重要とされている分子間相互作用の定量的な議論ができる点も大きな利点である。

近年では、FMO法を創薬の分野に活用するプロジェクトも立ち上がり[2]、計算の報告例も増えつつある。

* 東海大学 情報理工学部 情報科学科

3 フラグメント分子軌道法によるエストロゲン受容体の構造と機能の解明

日向寺研究室では FMO 法による生体高分子の機能解明と、創薬への応用に取り組んでいる。ここでは、女性ホルモンとして知られるエストロゲンを受容するタンパク質（エストロゲン受容体）と、受容体と結合して機能を促進する 17β -estradiol (EST) および機能を抑制する 4-Hydroxytamoxifen (OHT) の相互作用について解析した例を紹介する。[3]

図2に、エストロゲン受容体単体（中央）および EST 結合複合体（右）、OHT 結合複合体（左）の構造を示す。紫で示したヘリックス 12 (H12) 領域が EST 結合時と OHT 結合時で大きく異なるため、その後の受容体の機能発現に違いが出るものと考えられる。

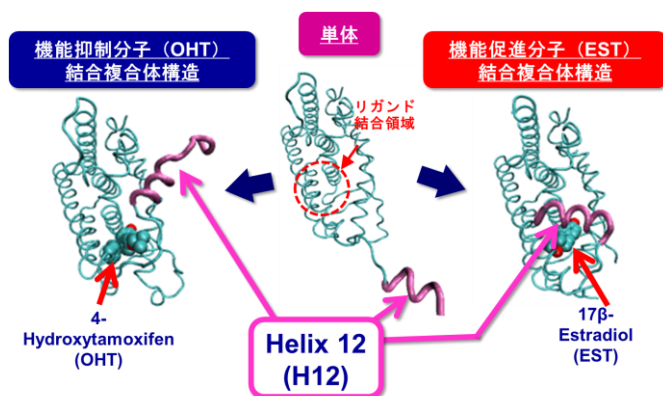


図2 エストロゲン受容体の構造変化

我々の研究室ではこの複合体構造の違いに着目し、FMO 計算を用いて、エストロゲン受容体 H12 領域の配置決定に寄与するフラグメント（アミノ酸残基）の特定を試みた。

タンパク質の立体構造データベース (PDB) より、機能促進分子 EST 結合時の構造 (1GWR) と機能抑制分子 OHT 結合時の構造 (3ERT) を取得し、欠損している部位の補完や構造最適化など様々な前処理を施した後に、タンパク質のフラグメント化を行った。各フラグメントに1つずつアミノ酸残基を割り当てる方法を採用し、高精度条件 (MP2/6-31G*) 下で FMO 計算を実施した。

図3に、促進分子 EST 結合時構造における H12 領域と各アミノ酸残基間の相互作用エネルギー (IFIE) を赤で、抑制分子 OHT 結合時構造の IFIE を青で示す。H12 領域は負の電荷を持ち正に帯電する部位とクーロン相互作用することが考えられるため、各フラグメントの正味電荷も併せて白で提示する。

この図より、エストロゲン受容体の H12 領域が最も強く相互作用する領域は、促進分子 EST 結合時構造では 529 番目の Lysine (Lys529)、抑制分子 OHT 結合時構造では 362 番目の Lysine (Lys362) であることが読み取れる。

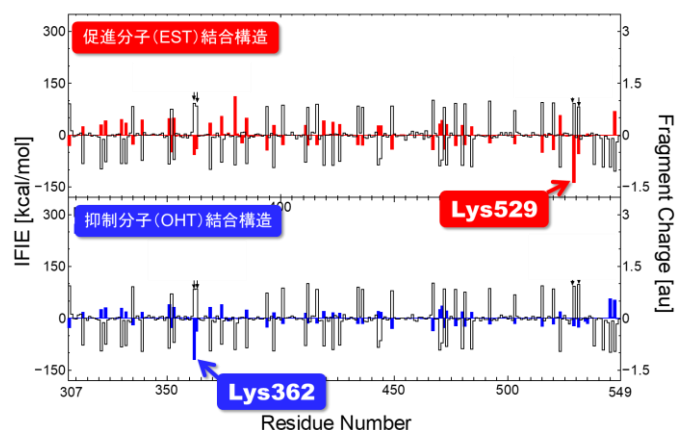


図3 H12 領域と各アミノ酸残基間の IFIE 解析

この結果は、エストロゲン受容体が結合する低分子の違いによって、H12 領域を引き寄せる部位に差が生じていることを示している。つまり、抑制分子 OHT 結合時は H12 領域が本来相互作用する部位 (Lys529) とは異なる部位に引き寄せられることで正しく折り畳まれないため、受容体が機能を発現するための次の段階に進むことができなくなっていると考えられる。

この研究成果により、精密な FMO 計算が分子の新規機能設計に寄与する様々な知見を与える可能性が示された。

4 おわりに

本論文では、日向寺研究室で実施した研究の一例を紹介した。他にも、抗がん剤への薬剤耐性回避に向けた新薬設計や、薬剤耐性を持つ鳥インフルエンザウィルスの機能解析など、多くの研究が進行中である。これからも、疾病や生体内現象の解明、薬剤設計に寄与する知見の蓄積を目指して研究を進めていきたい。

参考文献

- [1] FMO 創薬コンソーシアム (<https://fmodd.jp/>)
- [2] Kazuo Kitaura, Eiji Ikeo, Toshio Asada, Tatsuya Nakano, and Masami Uebayasi, Fragment molecular orbital method: an approximate computational method for large molecules, Chem. Phys. Lett. 313, 701 (1999).
- [3] Chiduru Watanabe, Kaori Fukuzawa, Shigenori Tanaka, and Sachiko Aida-Hyugaji, Charge Clamps of Lysines and Hydrogen Bonds Play Key Roles in the Mechanism to Fix Helix 12 in the Agonist and Antagonist Positions of Estrogen Receptor α : Intramolecular Interactions Studied by the Ab Initio Fragment Molecular Orbital Method, J. Phys. Chem. B, 118, 19, 4993 (2014)

研究室紹介：機械学習を応用した新しい映像・音響センシング

木下 裕磨*

Introductory Article: Novel Video and Audio Sensing Applying Machine Learning

by

Yuma Kinoshita*

(Received on Dec. 13, 2023 & accepted on Jan. 9, 2024)

Abstract

In the Kinoshita Laboratory, the primary research focus is on novel video and audio sensing technologies that leverage machine learning. When it comes to sensing images and sounds, there are often situations where it is challenging to obtain the desired information due to the physical limitations of sensors and environmental constraints. To overcome these challenges and improve the quality of video and audio sensing, the laboratory is engaged in research on sensing technology, media information processing, and machine learning techniques. This paper briefly introduces two research themes: "High Dynamic Range Imaging" in the context of video sensing, and "Acoustic Scene Analysis using Wireless Acoustic Sensor Networks" in the context of audio sensing.

Keywords: Sensing, signal processing, machine learning, deep learning, and multimedia

1. はじめに

木下研究室では、機械学習を応用した新しい映像・音響センシングを主な研究トピックとしている。映像や音のセンシングにおいては、センサの物理的な限界や周囲の環境の制約によって、所望の情報を得ることが難しい状況がしばしば存在する。これら困難を克服してより良い映像や音をセンシングするため、センシング技術とメディア情報処理技術、および機械学習技術の研究に取り組んでいる。本稿では、映像センシングに関する研究テーマとして「高ダイナミックレンジイメージング」を、音響センシングに関する研究テーマとして「無線音響センサネットワークによる音響シーン分析」を取り上げ、研究内容を簡単に紹介する。

2. 研究テーマ例

2.1 高ダイナミックレンジイメージング

撮像センサが扱うことができる輝度のダイナミックレンジは、現実シーンにおけるダイナミックレンジよりもはるかに狭い。そのため、現在のデジタルカメラで撮影された画像では、人間が知覚している輝度のダイナミックレンジを忠実に表現するには至っていない。本研究室では、一般の画像、すなわち、低ダイナミックレンジ (Low dynamic range, LDR) 画像の持つこの課題の解決を目的とし、より広い輝度のダイナミックレンジを記録した画像である高ダイナミックレンジ (High dynamic range, HDR) 画像をセンシングするための手法を研究している。

HDR 画像は、現実シーンにおける広い輝度のレンジの情報を



図 1 多重露出画像の例

持つ画像であり、写真撮影、コンピュータグラフィックス、監視カメラ、自動運転、医用画像など多くの分野への利用が期待されている。撮像センサにおけるダイナミックレンジの制限により、従来のカメラを用いた HDR 画像の直接的な撮影は困難な状況にある。図 1 に示すような同一シーンを異なる露出条件で撮影した複数枚の LDR 画像 (多重露出画像) の合成により HDR 画像を合成する方法も研究されているが、画像撮影時における時間的制約から十分な枚数の多重露出画像を撮影することが難しいという課題がある。

そこで、我々は、深層学習技術の利用により、単一の LDR 画像から高い精度で HDR 画像を推定する iTM-Net (図 2 参照) を提案した [1]。iTM-Net を用いることで、適切な多重露出画像の撮影が難しい状況や、そもそも多重露出画像が取得できない状況においても、より高い品質の HDR 画像を生成できる。

* 東海大学情報理工学部情報科学科

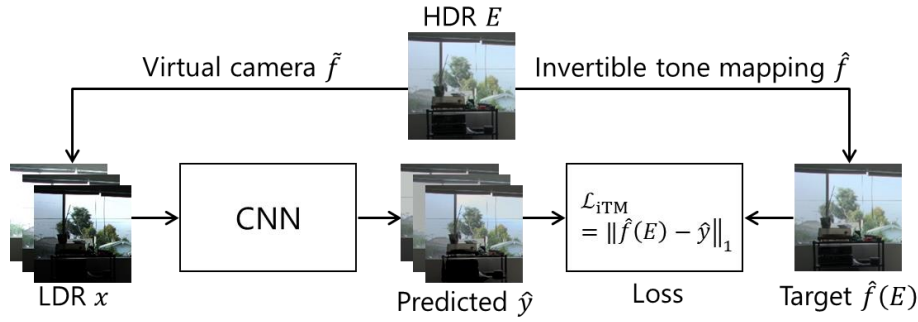


図 2 iTM-Net の概要. 単一の LDR 画像から HDR 画像を生成するため, 畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional neural network, CNN) を用いる. CNN の学習には, 教師 HDR 画像からランダム仮想カメラによる撮影をシミュレーションした LDR 画像と, 教師 HDR 画像に可逆なトーンマッピングを施した画像のペアデータを用いる.

2.2 無線音響センサネットワークによる音響シーン分析

音響シーン分析とは, 音の情報のみを用いて人の行動や周囲の状況を認識する技術である. 例えば, 「包丁がまな板に当たる音」から「現在料理中である」と推測することが可能である. 音響シーン分析には, 広範囲の音情報が重要となる. しかし, 音源がマイクロフォンから離れた場合, 目的の音が他の雑音に紛れてしまい, 分析が困難となる.

この問題に対処するため, 本研究室では, 無線マイクを広範囲に分散配置し, これらのマイクで収集される音信号を統合する無線音響センサネットワークに着目し, センサネットワークから得られる音信号を分析する枠組みを開発している. 音信号の統合と分析に音深層学習を活用することで, より精度の高い音響シーン分析が可能になると考えている.

加えて, 本研究室では, 広範囲の音情報を簡単に取得するため, 音を光に変換する小型センサデバイス「プリンキー」を開発している. プリンキーの外観を図 3 に示す. プリンキーは, 内蔵マイクで録音した音を, LED を介して光信号として発信する. 分散配置したプリンキーをビデオカメラで観測することで, 様々な場所の音情報を取得できる. しかし, 空中の光信号伝搬では, 光の減衰やノイズによって信号に歪みが発生する. また, 通常 30[fps] というカメラの限られたフレームレートのため, 撮影される信号は強く帯域制限されてしまう. このことが, プリンキーの音響シーン分析への応用を困難にしている.

このような背景から, 本研究室では, 音響シーン分析のためのプリンキーにおける最適な音光変換プロセスを一貫して学習

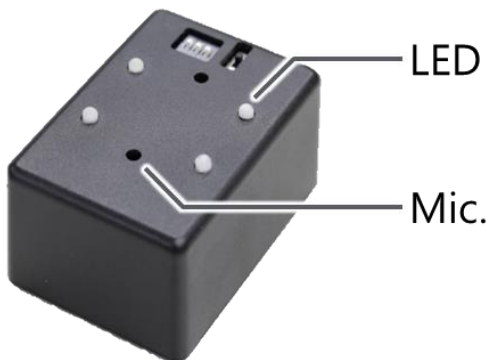


図 3 音光変換デバイス「プリンキー」

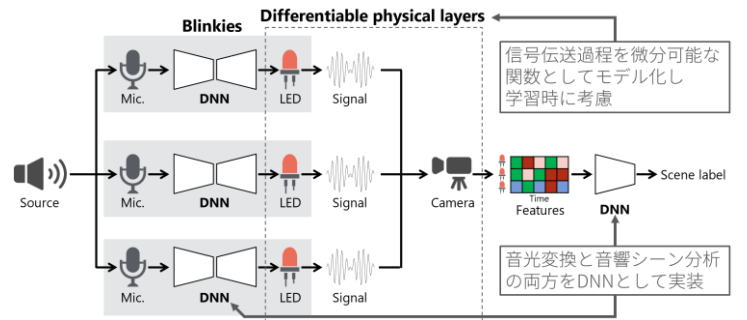


図 4 プリンキーを用いた音響シーン分析の一貫学習

する, 音響シーン分析フレームワークの研究も行っている (図 4 参照) [2, 3]. このフレームワークでは, 物理的な制約や音響シーン分析の精度を考慮しつつ, データ駆動型のアプローチで適切な音光変換を得ることが可能となる.

3. おわりに

本稿では, 木下研究室で実施している研究テーマの一例を紹介した. 今後も, センサの物理的限界を信号処理と機械学習の活用によって克服するための研究を実施する.

参考文献

- [1] Yuma Kinoshita and Hitoshi Kiya, “iTM-Net: Deep Inverse Tone Mapping Using Novel Loss Function Considering Tone Mapping Operator,” IEEE Access, vol.7, no.1, pp.73555-73563, May 2019.
- [2] Yuma Kinoshita and Nobutaka Ono, “End-to-End Training for Acoustic Scene Analysis with Distributed Sound-to-Light Conversion Devices,” EURASIP European Signal Processing Conference, pp. 1010–1014, Dublin, Ireland, Aug. 2021.
- [3] Yuma Kinoshita and Nobutaka Ono, “Analysis on Roles of DNNs in End-to-End Acoustic Scene Analysis Framework with Distributed Sound-to-Light Conversion Devices,” APSIPA Annual Summit and Conference, pp. 1167–1172, Tokyo, Japan, Dec. 2021.

研究室紹介：情報科学科 高橋研究室

高橋 智博*

Introduction of Takahashi laboratory

by

Tomohiro Takahashi

(Received on Jan. 3, 2024 & accepted on Jan. 9, 2024)

Abstract

This paper summarizes the recent research activities and results of the Takahashi laboratory. The laboratory was established in 2018 and has already graduated 42 students. We review their diverse research activities in digital signal processing.

Keywords: Digital signal processing, Signal recovery, Remote sensing

はじめに

行列完成問題は様々な応用を持つ数理最適化問題である．対象とする行列の多くの要素が欠損しており，それら欠損要素を欠損していない要素から推定し，修復する問題である．推薦システムはこの問題の代表的な応用先であり，Netflix Prize と呼ばれる優勝賞金 100 万ドルのアルゴリズムコンテストが行なわれたのは 2006 年のことである(1)．各行がインターネット動画配信サービス Netflix が扱う映画のタイトル，各列が登録ユーザーに対応したデータ行列が与えられ，この行列の各要素はどのユーザーがどの映画を 5 段階でどのように評価したかを表している．このとき，まだ評価されていない空白の要素の値を高い精度で推定することが目標となる．これが可能になれば，任意のユーザーに対して，そのユーザーが高く評価するであろう映画を推薦することが出来るようになり，顧客満足度やレンタル率の向上が期待できる．

では具体的にどうやってまだ評価されていない要素を推定するのであろうか．多くのアプローチがあるが，行列の低ランク性に着目する方法は代表的な方法の一つである．例えば，スターウォーズが好きな人はスタートレックや銀河英雄伝説も好きであろうし，同様にロードオブザリングが好きな人はゲームオブスローンズやハリーポッターも好きであろう．これは人間の映画に対する嗜好は，宇宙 SF 好き，ファンタジー好きといったより低次元な説明変数でデータを表現できることを示している．もしそれらの説明変数とデータの間に線形あるいはアフィンな関係があれば，データ行列は低ランク行列で十分に近似可能である．観測データが存在する要素については十分それに従い，かつ低ランクとなる行列を求める手法は多く提案されており，適当な手法を用いて推薦システムを実現することが出来る．

本研究室ではこうしたデータ予測・補間の技術をデジタル信号処理の分野に応用した，画像の修復や音声の歪み除去のためのアルゴリズムについて研究している．特に，image inpainting と呼ばれる欠損画素補間は，図 1 ように画像の一部が欠損している（図 1 上）場合に，その周囲の非欠損画素から欠損画素を

推定し，復元する（図 1 下）技術である．



図 1 ランダムサンプリング (50%)
の結果（上）とその修復例（下）

研究室組織と研究

2023 年度は学部 4 年生が 9 名、3 年生が 12 名、大学院生 4 名の計 25 名に教員 1 名を加えた 26 名が高橋研のメンバーである（4 年生には 9 月に卒業した学生を含む）。本研究室は 2018 年に新たに創設された研究室ではあるが、優秀な OB/OG が築き上げた研究の成果を後輩に引き継いでいくという伝統が既にあり、大学院生を中心に後輩への教育や知識の継承が行われている。

研究については学部生であっても原則として 1 人につき独立した 1 テーマを持って取り組むこととしており、大別すると以下のようなテーマの中から好きなテーマを早いもの勝ちで自ら、あるいは教員と相談の上選んでいる。

- 人工衛星リモートセンシングのための画像修復
- ハイスピードカメラの画質・FPS 向上のためのシステム技術
- 磁気共鳴分光法のための信号修復技術
- 音響機器のデジタルエミュレーション

上記テーマ例の中にも学内外との共同研究が含まれている。学内では東海大学情報技術センター（TRIC）および陸上競技部と連携しており、最近では特に陸上競技部の OG が学部生ながら学会発表を行っている(2)。また、修士課程の学生 OB が行っていた新たな画像撮像機に関する研究は、複数回の学会発表を経て電気学会の論文誌に採択された(3)。本研究はデータのスキランと修復を交互に繰り返すユニークな方法（図 2）により、より少ない観測で精度の高い信号観測を目指すものである。

おわりに

本稿では東海大学情報理工学部情報科学科の高橋研究室における研究の基礎である行列完成問題について簡単に触れ、2023 年度の研究室組織と最近の研究テーマについて紹介した。ここ数年での研究体制、特に学生の上下間の繋がりはコロナ禍以前と比べても強固になったと感じており、その結果が研究成果としても現れている。学部生の学会発表や大学院修士の査読付き学会論文発表はその最たる例である。

大学における研究の主体は各学科における研究室であり、今後も学生と共に研究が行えるよう産官学と連携していく所存である。

参考文献

- 1) Netflix Prize Home, <https://www.netflixprize.com/>
- 2) 尾崎京子, 高橋智博, 與名本稔, “ハンマー投の技術向上を目的としたフォーム改善の支援システム”, 日本陸上競技学会第 20 回大会, 2022 年 2 月 18-28 日.
- 3) 三枝将太郎, 高橋智博, “レーザー撮像器のための修復誤差を用いた不均一スキラン方法”, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.143, No.7, pp.718-727, 2023.

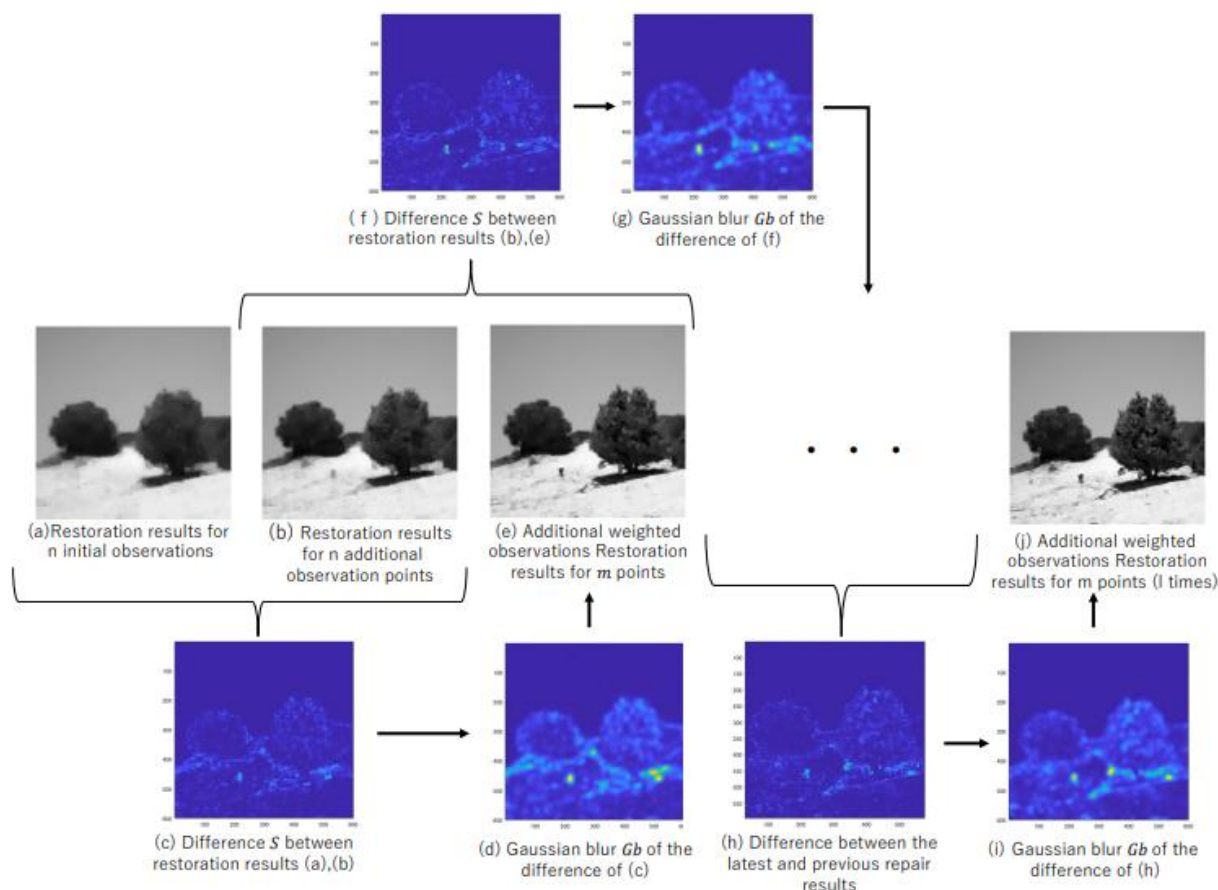


図 2 ランダムサンプリングの重み付けと修復の過程（文献(3)より図引用）

東海大学情報理工学部紀要委員会

委員長 土屋 秀和

委員 高雄 元晴

委員 茂木 龍太

EDITORIAL COMMITTEE OF PROCEEDINGS OF
THE SCHOOL OF INFORMATION SCIENCE
AND TECHNOLOGY
TOKAI UNIVERSITY

Chairman Hidekazu TSUCHIYA

Member Motoharu TAKAO

Member Ryuta MOTEGI

本紀要の論文は、情報理工学部紀要委員会
掲載可と判定された原著論文である。

東海大学紀要 情報理工学部

Vol. 23 2023

2024年 3月31日 発行

発行所 東海大学情報理工学部

〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1

tel 0463-58-1211
