

物理素材の特性を活かしたインタラクションと表現 寛康明

ゲーテの『色彩論』から広がる地平 石原 あえか

流れが造る機能美 長谷川 洋介

身の回りに潜む対称性 松井千尋

振動反応が創り出す生物リズムの美 樋口 秀男

美しい数学の世界 伊藤 由佳理

中国音楽における科学と美学 田中有紀

すべては遊びから始まるーゲーム研究の現在地 吉田 寛

人工知能は美や感性を理解するのか 山崎 俊彦

科学と美

東京大学八倉開講座

講

義

要

項

2023年秋季

137

11/11 ▶▶▶ 11/25



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

はじめに

- 第137回 2023年秋季 東京大学公開講座企画委員 …………… ③
 開講にあたって 古澤 泰治 (企画委員長・経済学研究科長) …………… ④

第1日 11月11日 (土) 視覚に訴える美

- 12:50~13:00 開講の挨拶 古澤 泰治 (企画委員長・経済学研究科長)
 13:00~13:40 物理素材の特性を活かしたインタラクションと表現 …… ⑥
 寛 康明 (情報学環・教授)
 13:50~14:30 ゲーテの『色彩論』から広がる地平 …………… ⑩
 石原 あえか (総合文化研究科・教授)
 14:40~15:20 流れが造る機能美 …………… ⑭
 長谷川 洋介 (生産技術研究所・教授)
 15:35~16:25 総括討議
 司会 渡邊 英徳 (情報学環・教授)
 寛 康明 / 石原 あえか / 長谷川 洋介

第2日 11月18日 (土) 理性に訴える美

- 13:00~13:40 身の回りに潜む対称性 …………… ⑱
 松井 千尋 (数理科学研究科・准教授)
 13:50~14:30 振動反応が創り出す生物リズムの美 …………… ⑳
 樋口 秀男 (理学系研究科・教授)
 14:40~15:20 美しい数学の世界 …………… ㉒
 伊藤 由佳理 (カブリ数物連携宇宙研究機構・教授)
 15:35~16:25 総括討議
 司会 岩田 覚 (情報理工学系研究科・教授)
 松井 千尋 / 樋口 秀男 / 伊藤 由佳理

第3日 11月25日(土) 感性に訴える美

- 13:00~13:40 中国音楽における科学と美学 30
田中 有紀 (東洋文化研究所・准教授)
- 13:50~14:30 すべては遊びから始まる—ゲーム研究の現在地 34
吉田 寛 (人文社会系研究科・准教授)
- 14:40~15:20 人工知能は美や感性を理解するのか 38
山崎 俊彦 (情報理工学系研究科・教授)
- 15:35~16:25 総括討議
司会 横山 広美 (カブリ数物連携宇宙研究機構・教授)
田中 有紀 / 吉田 寛 / 山崎 俊彦
- 16:25~16:35 閉講の挨拶 津田 敦 (理事・副学長)
- 東京大学コミュニケーションセンター(UTCC)商品のご案内..... 41

第137回 2023年秋季 東京大学公開講座企画委員

委員長	古澤 泰治	経済学研究科長・教授
委員	酒井 崇匡	工学系研究科・教授
委員	柳原 孝敦	人文社会系研究科・教授
委員	榎本 和生	理学系研究科・教授
委員	田村 隆	総合文化研究科・准教授
委員	平地 健吾	数理科学研究科・教授
委員	岩田 覚	情報理工学系研究科・教授
委員	渡邊 英徳	情報学環・学際情報学府・教授
委員	秋葉 淳	東洋文化研究所・教授
委員	芦原 聡	生産技術研究所・教授
委員	横山 広美	カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

開 講 に あ た っ て

第137回 2023年秋季 東京大学公開講座企画委員会

委員長 古 澤 泰 治
(経済学研究科長)



自然法則は、驚くほどシンプルで美しい方程式で表されることがあります。また、人々が美しいと感じる芸術作品や建築物は、数学的、科学的法則に従っていることもよくあります。前者の例としては、ニュートンの万有引力の法則 $F=Gm_1m_2/r^2$ やアインシュタインの有名な法則 $E=mc^2$ が挙げられます。このような簡単な式で、物質同士が引き合う力や、物質の質量とエネルギーの関係が記述できるというのは、実際驚くべきことです。後者の例としては、ピラミッドやパルテノン神殿、モナ・リザの顔が1:1.618の黄金比に従っていることが挙げられるでしょう。

曖昧さを許さず真実を探ろうとする科学と、人々の感覚に訴える芸術などの美は、対極に位置するとも考えられます。しかし、ある意味対極に位置しながらも、科学と美は相互に深く関わっているようです。

多くの科学分野に理論的基礎を提供する数学は、それ自体美しい体系を持っています。まず、論理の展開はそれ自体が美しいと言えます。また、定理を導く証明は美しいほど価値が高いと考えられています。数学が持つ美を探ることは、それ自体がまず楽しい作業です。また、理論物理学における数学的美を探るのも興味深いし、実験物理学においても、理論が予測する物理法則を成功裡に検証する実験方法は独創的で美しいものです。もちろん科学における美は数学や物理学にとどまらず、化学や工学、情報科学、そして人文社会科学にも見出されます。

芸術や音楽の中に存在する科学を探究するのも、楽しい作業です。黄金比に代表されるように、人々が美しいと感じるものに、ある一定の科学的、もしくは数学的法則が存在していることがあります。美を作り出す芸術家や建築家が、無意識にそうした法則に従っているのか、それとも意識的に科学を取り入れているのか、とても興味深い問いです。

今回の公開講座では、主に科学の中に潜んでいる美を探ることにより、科学と美の関係について考えていきます。「視覚に訴える美」、「理性に訴える美」、「感性に訴える美」というサブテーマのもと、9名の講師の方々が日々の研究の中に見ている美を紹介します。本公開講座の機会を捉え、科学の中の美を鑑賞していきましょう。

物理素材の特性を活かした インタラクションと表現

情報学環・教授 笥 康 明

背景としてメタバースに代表される画面の中で展開されるバーチャル技術の発展やコンテンツの充実を見ながら、一方で私たちはどのように画面の外側にある実世界との関係の調和を図り、技術を通していかに実世界体験を充実させることができるかという点もこれからの重要な問いになります。

私の工学的研究の軸の一つはHuman Computer Interaction (HCI) と呼ばれる領域にあります。コンピュータの登場以降、人間にとって自然で使いやすい形でコンピュータを操るために、ユーザとコンピュータの間を取り持つインタフェースとしての道具や手段の研究開発が進められてきました。この中で、マーク・ワイザーが提唱した90年代の先駆的研究ビジョンであるカーム・テクノロジー (Calm Technology: 穏やかな技術) をはじめとして、いかに我々がコンピュータの存在を意識せずに恩恵を享受する環境を構築できるかという課題が議論されてきました。これは近年のIoT (Internet of Things) などの技術潮流に接続される形で、コンピュータの機能を生活に溶け込ませるための技術開発やデザインが試みられています。

私たちの取り組む研究は、上記の思想や方向性を引き継ぎながら、実世界を介した人間とコンピュータとのインタラクション (相互作用)、そしてさらに情報技術を介して人間と実世界とのインタラクションや関係構築に関心を置いています。情報メディアが「穏やかに見守る」のみならず、実世界の構成要素にダイナミックな動きや変化を与えるための手段として活用され、調和を取りながらも時に人や環境に能動的に働きかけ、その場の関係を適度

に活性化させる「にぎやかなテクノロジー」の可能性に注目しています。

このような考え方のもとで、私たちは実世界の素材や構造などの特性を活用したり、引き出すように新たなインタラクティブメディアの研究開発を進めています。電氣的、機械的なアプローチに加えて、デジタルファブリケーションや機能性素材技術を駆使し、周囲からの入力や刺激に応じて形や色、大きさ、硬さ、香りなどが動的に変化する素材や構造を組み込んだ物体、そしてそれらをインタフェースとして活用する技術について研究しています。また、実世界との調和や周囲の資源の活用の視点から、身の回りの紙や布、水、空気、植物などを組み込んだインタフェースの研究を進めています。さらに、これらの取り組みは、工学的研究に加えて、アートやデザインからの視座が重要になります。環境に呼応するテキスタイル（図1）やサウンドインスタレーション（図2）など、私の関わる近年の作品を通して、素材や現象とその制御を通じた美的価値の探求など表現面での可能性についても紹介します。

以上のような観点から、本講演では物理素材や空間の特性を活かす研究や作品を紹介し、実世界に調和する技術や実素材・現象から立ち現れる表現の可能性について議論します。



図1:西陣織に機能性材料を組み込んだ
環境呼応型テキスタイルAmbient Weaving



図2:レイケ管による熱音響変換現象を利用した
サウンドインスタレーションSoundform

講師のプロフィール



かけひ やすあき

寛 康明

情報学環・教授

アート、サイエンス、エンジニアリング、デザインの領域を行き来する形で学際的に研究・制作活動を展開しています。異分野の研究者やアーティスト・企業等とのコラボレーションも多く、越境的で集会的な知や創造性にも関心があります。

専門分野 ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、メディアアート

最近の研究テーマ

Material Experience Design、フィジカルインタフェース、実体質感

最近の主な著書

『触楽入門 はじめて世界に触れるときのように』（共著、朝日出版社、2016年）

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

- 1) 緒方寿人: コンヴィジュアル・テクノロジー 人間とテクノロジーが共に生きる社会へ、ピーエヌ・エヌ(2021) (第7章に寛康明の対談が収録)
- 2) 寛康明: Activating the physical : インタラクティブマターとマテリアルインタラクション, Keio SFC journal 17 (1), 52-73, 2017
- 3) Harpreet Sareen, Yibo Fu, Nour Boulahcen, and Yasuaki Kakehi. 2023. BubbleTex: Designing Heterogenous Wettable Areas for Carbonation Bubble Patterns on Surfaces. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). ACM, Article 421, 1-15.
<https://doi.org/10.1145/3544548.3581030>
- 4) Ryosuke Nakayama, Ryo Suzuki, Satoshi Nakamaru, Ryuma Niyama, Yoshihiro Kawahara, and Yasuaki Kakehi. 2019. MorphIO: Entirely Soft Sensing and Actuation Modules for Programming Shape Changes through Tangible Interaction. In Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference (DIS '19). ACM, 975-986. <https://doi.org/10.1145/3322276.3322337>
- 5) Viirj Kan, Emma Vargo, Noa Machover, Hiroshi Ishii, Serena Pan, Weixuan Chen, and Yasuaki Kakehi. 2017. Organic Primitives: Synthesis and Design of pH-Reactive Materials using Molecular I/O for Sensing, Actuation, and Interaction. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17). ACM, 989-1000.
<https://doi.org/10.1145/3025453.3025952>

HP <https://xlab.iii.u-tokyo.ac.jp>

Memo

Handwriting practice area with 20 horizontal dashed lines.

視覚に訴える美
11 / 11

ゲーテの『色彩論』から広がる地平

総合文化研究科・教授 石原 あ え か

詩人ヨーハン・ヴォルフガング・フォン・ゲーテ（1749 - 1832）は、自然科学領域でもさまざまな寄与をしましたが、特に「形態学」と「色彩論」のふたつは彼独特の貢献が大きい分野です。うち後者、1810年に刊行された『色彩論』は教示篇・論争篇・歴史篇の三部から成り立つ色彩に関する彼の研究の集大成で、その内容はもちろん、ボリュームも含めて、読みにくい作品のひとつです。

同時代の物理学者たちは、ニュートンの『光学』に無謀な闘いを挑んだゲーテを冷たくあしらいましたが、ゲーテ本人は「この作品こそ、将来最も重要な著作と見なされるだろう」と自負していました。それから時は流れ、彼の予言通りと言えるのでしょうか、20世紀になると物理学者ヴェルナー・ハイゼンベルク（1901 - 1976）らが『色彩論』を肯定的に評価し始めました。他方、芸術分野での反応は早く、たとえばロマン派芸術家フィリップ・オットー・ルンゲ（1777 - 1810）は、ゲーテのスペクトル実験に興味を持ち、1806年から両者は文通を開始、その「色球体」（Farben-Kugel/Color sphere）に関する著書は『色彩論』と同じ年に刊行されました。

ルンゲの色球体は三次元ですが、ゲーテは1809年に色彩が人の精神や心に及ぼす影響を示した二次元の「色彩環」を発表しています。詩人の住空間の色彩については、帝国劇場や東宮御所の設計で知られる建築家・谷口吉郎（1904 - 1979）がヴァイマルのゲーテ邸を訪れた時のエッセイで言及していますが、ゲーテの色彩環や補色の概念は、エリック・カール（1929 - 2021）の絵本『こんにちは、あかぎつね』、ステンレス素材を使う芸術家・坂上直

哉（1947 - 2022）の作品にも影響を与えました。

他方、ゲーテの色彩論は、クリスティアン・ケーファーシュタイン（1784 - 1866）によるドイツ初の『ドイツ地質図』への貢献や石原忍（1879 - 1963）の色覚テストなど、自然科学領域でも意外な貢献や繋がりがります。

本講義では、ゲーテの『色彩論』を起点とした「科学と美」の豊かな広がりについてご紹介したいと考えています。

講師のプロフィール



いしはら

石原 あえか

総合文化研究科・教授

専門分野 ドイツ文学・近代科学史

最近の研究テーマ

ゲーテと自然科学（特に測地学・地学・地理学）

最近の主な著書

Anschauen und Benennen: Beiträge zu Goethes Sammlungen und Studien zur Naturwissenschaft. Hrsg. v. Jutta ECKLE und Aeka ISHIHARA（共編著, Winter (Heidelberg), 2023年）

『教養の近代測地学 メフィストのマントをひろげて』（法政大学出版局、2020年）

『日本のムラージュ 近代医学と模型技術 皮膚病・キノコ・寄生虫』（写真・大西成明、青弓社、2018年）

『近代測量史への旅 ゲーテ時代の自然景観図から明治日本の三角測量まで』（法政大学出版局、2015年）

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

J. W. v. ゲーテ『色彩論』（高橋義人・前田富士男ほか訳：完訳版、工作舎、1999年）

J. W. v. ゲーテ『色彩論』（木村直司訳：教示篇のみ、ちくま学芸文庫、2001年）

石原あえか「地球一周分を旅した詩人ゲーテと地図 ブラウフース作《ヴァイマル公の公園図》とケーファーシュタイン作《ドイツ総合地質図》を例として」、日本地図学会『地図 空間表現の科学』Vol.56-1（2018年）

HP <https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/people/people003636.html>

来夏、生誕275年を迎えるドイツ詩人ゲーテ。その彼が自身の文学作品を差し置いて、「これぞ将来最も重要な著作とみなされるだろう」と予言した『色彩論』が、日本の医学者や芸術家に与えた影響を中心に話したいと思います。

Memo

A large rectangular area with rounded corners, containing 20 horizontal dashed lines for writing.

視覚に訴える美

11 / 11

流れが造る機能美

生産技術研究所・教授 長谷川洋介

我々の身の回りの物質は、固体、液体、気体という三つの状態に分類され、そのうち、液体と気体はその形を変形させて「流れる」という特性を持つために「流体」と呼ばれています。空気や水の流れは人にとって最も身近な物理現象ですが、それらは透明であるために、その複雑な流動を直接目にする機会は多くはありません。しかし、煙突の煙やコーヒーに入れたミルクなどの挙動を観察すると、流れの複雑さを窺い知ることができます。流れの挙動やそれに付随した熱や物質の輸送現象を扱う学問領域を「流体力学」と呼びます。

本講義の前半では、流体力学の基礎として、高校物理で習う最も基礎的な力学の法則（ニュートンの法則）に立ち返り、流れの運動がどのような物理によって決まるかを解説します。また、流れの現象を理解するために有用なツールである、様々な流れの計測手法やスーパーコンピュータを用いた流れの数値シミュレーションなどの事例を紹介し、現在、大学においてどのような研究が展開されているかをご紹介します。

本講義の後半では、工学や生物学における流体力学の応用事例を紹介します。身の回りの工学製品では、その内部、またはその周囲に必ずと言って良いほど流れが存在し、それらの挙動によって機器の性能や効率が決まるケースが数多く存在します。そこで工学において、流れやそれに伴う熱や物質の輸送を自在に制御するために、どのように新しい形が生み出されているかを紹介します。

一方、人間を始めとして生物の体の中においても、流れを制御することは極めて重要です。人は呼吸をすることで、周囲の空気を肺に取り込みます。肺に届けられた酸素が血流によって全身に送り届けられることで、我々の生命活動は維持されています。生体内に張り巡らされた毛細血管網は、生体組織全体に酸素や養分を供給し、老廃物を排除するために本質的な役割を果たしています。血管は、多数の血管内皮細胞によって構成されていることが知られています。興味深いことに、最近の研究によって、発生段階の生体内では血管内皮細胞が移動することによって、血管網ネットワークの構造がダイナミックに変化し、より効率的に血液を全身に届けられるよう最適化されることが明らかになりつつあります。

本講義では、人が行う工学機器の設計と生体内における血管網の形成過程を比較することによって、両者において機能的な形が生み出されるプロセスの共通点や本質的な違いについて議論したいと思います。

講師のプロフィール



は せ がわようすけ

長谷川洋介

生産技術研究所・教授

専門分野 熱流体工学

最近の研究テーマ

流れの制御と予測、形状最適化、生物や環境における流れの研究

最近の主な著書

- 1) 「毛細血管リモデリングと流路ネットワーク最適化」
生物の優れた機能から着想を得た新しいものづくり(分担執筆), シーエムシー出版, ISBN:978-4-7813-1354-2, 2019年
- 2) 「マイクロ・ナノ熱工学の進展」(分担執筆: 第4篇 第3章 第4節 生体内血管網の輸送特性と分岐形態最適化)
(株)エヌ・ティー・エス, 2021年5月19日, ISBN:978-4-86043-722-0 C3042

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

- 1)流体力学, 日野 幹雄, 朝倉書店 (1992/12/10), ISBN-10:4254200668, ISBN-13:978-4254200669
- 2)発生物理学: 基礎から再生医療への応用まで, 道上 達男, 裳華房 (2022/11/1), ISBN-10:4785358742, ISBN-13:978-4785358747
- 3)Mirzapour-shafiyi, F., Kametani, Y., Hikita, T., Hasegawa, Y., Nakayama, M., “Numerical evaluation reveals the effect of branching morphology on vessel transport properties during angiogenesis”
PLOS Computational Biology, Vol. 17, No. 6, e1008398, (2021)
- 4)長谷川 洋介, 亀谷 幸憲, 中倉 満帆, 伊藤 宗嵩. 「熱流体システムへの最適制御理論の応用」計測と情報, Vol. 59, No. 8, pp.527-534, 令和2年8月

HP <http://www.ysklab.iis.u-tokyo.ac.jp>

大学院への進学をきっかけに、それから20年以上、流れに関する研究に携わっています。空気や水の流れは、我々の生活において最も身近な物理現象でありながら、その複雑な運動の理解や予測が未だに十分できていない点が面白く研究を続けています。本講義を通じて、流体研究の面白さ、難しさの一端をご紹介しますと思います。

Memo

A large rectangular area with rounded corners, containing 20 horizontal dashed lines for writing.

視覚に訴える美
11 / 11

身の回りに潜む対称性

数理科学研究科・准教授 松井千尋

本公開講座のサブタイトルは「理性に訴える美」ですが、私たちの身近に感じられる「理性に訴える美」として何が思い浮かぶでしょうか？一例として、「規則性」が挙げられるかもしれません。眩い輝きを放つダイヤモンドのカットやバッハの音楽、エッシャーの絵画など、私たちが「美しい」と感じるものには何らかの規則性が含まれることが多いように思います。私がお話しするのも、この「規則性」に関連する話題です。

上に挙げた例のように、規則性は何かしら人の手が加わったものに現れると思われがちですが、実は自然界にも多く見られます。雪の結晶や貝殻がもつ螺旋構造などがその例です。また、数学を使って身の回りに起こる現象を理解しようとする「物理学」は、自然界に潜む何らかの規則性を見つけ出す試みそのものだと言えるかもしれません。そうした試みは、古典力学や熱力学、電磁気学、さらに量子力学や統計力学、相対性理論など物理学の基礎理論へと体系化されてきました。私の専門は数理物理学ですが、物理学を志すようになったきっかけは、やはりこうした自然界に現れる規則性を「美しい」、「もっと理解したい」と思ったからです。

一方で、数学や物理学に現れる「美」は、それに携わる者以外にはしばしば理解し難いのではと感じることもあります。私のような数学物理学者にとって、物理現象を記述する方程式の中に数学的な規則性を見出すことは大きな感動を感じる瞬間の一つです。本講演では、その感動の一端を皆様と共有することを目標としたいと思います。

今回の講演には、コップに入った温かいコーヒーやビリヤードテーブルを縦横無尽に駆け巡るビリヤードボールが登場します。温かいコーヒーはそのまま置いておけば冷めてしまうし、適当な方向に弾き出したビリヤードボールは時間が経てばビリヤードテーブルを覆い尽くすような軌道を描くでしょう。どちらも平衡化と呼ばれる、日常生活にありふれた物理現象と関連しています。

もう一つ、規則性と深い関係にある「対称性」も今回の講演で重要な役割を担っています。「対称性」は、数学的な対象に対して「変換」と呼ばれる操作をしたときに、着目している性質が変わらないときに現れます。「変換」とは、ある対象を一見異なる別の対象へ変身させることです。わかりやすくいうと、アルファベットのAは「変換=中心を通る垂直線を軸とする反転」に関して不変です。この性質のことを「線対称性」とよびます。また、アルファベットのSは「変換=中心に関する180度の回転」に関して不変です。この性質は「回転対称性」とよべます。では、アルファベットのXはどうでしょうか？これは、「線対称性」と「回転対称性」の両方をもつものの例であることがわかります。アルファベットの他にも、対称性は様々な場面で登場します。例えば、絵画や音楽でよく使われるモチーフの繰り返し技法は、数学の言葉では「並進対称性」とよべます。つまり、「並進対称性」が「繰り返し」という規則性を生み出しているわけです。これは物理学でも頻繁に見られる対称性の一つです。

こうした対称性のもとでは、原子や分子程度の小さな磁石が交通渋滞を起こしている車に変身するなど、摩訶不思議なことが起こります。

対称性は、規則性の他にも「保存量=変換で不変な数学的対象」を生み出します。回転対称性を例にとると、回転前後で回転中心からの距離が変わらないことがわかります。つまり、「回転中心からの距離」が保存量です。

私たちは、価値ある何か美しいものを生み出したいと思いながら時間の流れの中で生きています。時間の流れは、物理学では「変換」を用いて表すことができます。「美しさ=規則性」は数学の言葉を借りると「対称性」から「保存

量」へと言い換えることができます。すなわち、美しさは「時間が経っても変わらない価値」をもつのだと、数学と物理学は教えてくれるように思います。

本講演の中に、聴講者の皆様それぞれにとっての普遍的な価値を見出していただければ幸いです。

講師のプロフィール



まつい ちひろ
松井千尋

数理科学研究科・准教授

専門分野 数理物理学

最近の研究テーマ

可解性と物理現象の関連性、部分的に可解な量子模型の数理構造

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

広瀬 立成『対称性から見た物質・素粒子・宇宙一鏡の不思議から超対称性理論へ』（講談社、2006年）

中村 佳正，高崎 金久，辻本 諭，尾角 正人，井ノ口 順一『解析学百科II 可積分系の数理』（朝倉書店、2018年）

HP <https://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~matsui/index.html>

小学生のとき、身の回りに起こる現象が数式で表せることに感動し、自分なりに世界の成り立ちを理解したくて研究を続けてきました。数学を使って物事を理解する楽しさを体感していただければ光栄です。

Memo

A large rectangular area with rounded corners, containing 20 horizontal dashed lines for writing.

振動反応が創り出す生物リズムの美

理学系研究科・教授 樋口 秀 男

我々の身体には、さまざまリズムがあります。そのリズムの周期は、数年の長いものから、0.1秒以下の短いものまであります。講義では、身近なリズムを紹介するとともに、心臓や鞭毛・繊毛の運動リズムを例にとり、リズムがどのようにして生まれるのかを説明します。さらに、リズムの背後には、共通性があることを議論します。

身近なリズムを紹介します。人は太陽の光がない場所でも、約24時間のリズムを持つことから、我々の身体には概日リズムが備わっています。この概日リズムは、脳の深部の細胞が、特定のタンパク質(PER)の合成と分解を約24時間で行うことで生まれます。別の例として、我々は一定のリズムで呼吸をします。息を吸ってからしばらくすると、血液中の二酸化炭素の濃度が上昇します。この上昇の情報が脳の呼吸中枢神経に伝わり、神経が横隔膜筋を収縮させ、肺が拡張することで吸気を取り込みます。

呼吸とともに生命維持に重要なのは心臓の収縮のリズムです。心臓の右心房にあるペースメーカー細胞が周期的に電位を変化し、この電位リズムに合わせて心臓の筋肉（心筋）が収縮リズムを作ると考えられています。ところが、最近電位リズムがなくても心筋が自ら収縮リズムを持ちえるとの報告があり、我々はリズムが生まれる仕組みを研究しました。心筋内にある多数のミオシン分子は、アクチン線維を引っ張ることで力が増加します。増加した力が減少に転じるのは、『力を出しているミオシン分子が力を出さない状態に戻る反応は、ミオシンの出す力が大きいほど速く進む』という性質に原因します。心筋が力を出しているとき、ミオシン分子の中でも大きな力を出して

いる分子は、力を出さない状態に素早く戻ります。すると残りのミオシン分子にかかる平均の力は増加するため、ミオシン分子は次々に力を出さない状態に戻ってしまい力が減少します。いったん力が減少すると、今度は力を出す分子が増えて、リズムが生まれます。

最後の話題として、周期0.1秒以下の短いリズムを持つ繊毛と鞭毛（直径0.3、長さ10～50マイクロメートル）を紹介します。鼻や口から入った異物は、鼻腔や気管に生えた繊毛のむち打ちリズム運動によって、喉の方に押し出されます。繊毛とほぼ同じ構造を持つ精子の鞭毛は、むち打ち運動を行い泳ぎの推進力を生みだします。ウニの精子鞭毛を用いた研究から、鞭毛のリズムが生まれる仕組みは、心筋と類似していることがわかってきました。鞭毛の中で力を発生する分子は、ダイニンと呼ばれます。心筋のミオシンと同様に、力が大きくなるとダイニン分子の中で力を出さない状態に戻る分子が増加し、力の減少が始まり運動のリズムが生まれます。

以上見てきたリズムが生み出される仕組みには、共通点があります。それは、『ある量が増加するとその量を減少させる別の働きが起これその量は減少し、その量が減少すると減少させる働きが弱くなり増加に転じる』といった仕組みです。概日リズムでは、PERタンパク質濃度が増加するとPERタンパク質が遺伝子に働きタンパク質の合成を阻害し、PERタンパク質濃度を減少させます。呼吸では、二酸化炭素濃度が上昇すると呼吸中枢に働き、吸気を行い二酸化炭素濃度を減少させます。心筋や鞭毛では、力が増加すると力を出さないミオシンが増加して力が減少します。増加と減少に要する時間が毎回ほぼ一定である場合には、美しいリズムが生まれます。このリズムが生まれる仕組みを数理の式から理解する場合、驚いたことにバネにつるされたおもりの振動運動を導く式と類似していることがわかります。このように異なる要素や分野が統一的に理解することができること、それが自然の美しさの一つではないでしょうか。

講師のプロフィール



ひぐちひでお
樋口秀男

理学系研究科・教授

専門分野 生物物理学、細胞生物学、生理学

最近の研究テーマ

生体分子や細胞の運動の仕組みの解明

最近の主な著書

『Handbook of dynein』(共著、Pan Stanford Publishing、2019)

『1分子生物学』(共著、化学同人、2014)

『バイオマテリアル』(共著、NTS出版、2012)

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

衆 和彦『時間の分子生物学 時計と睡眠の遺伝子』(講談社、2022)

研究者であり医師でもある著書が概日リズムと睡眠を分かりやすく説明しています。

柳澤桂子『リズムの生物学』(講談社、2022)

生物に見られる多くのリズムが紹介されています。

HP <http://bp.phys.s.u-tokyo.ac.jp/higuchipro/>

生物の動きに興味を持ち、これまでタンパク質・細胞・マウスの動きを観察してまいりました。最近、タンパク質が集まると振動運動が起こり、数理で扱うリズムと関係があることがわかりました。生物のリズムについてより広い視点からも調べています。

Memo

A large rectangular area with rounded corners, containing 20 horizontal dashed lines for writing.

美しい数学の世界

カブリ数物連携宇宙研究機構・教授 伊藤由佳理

美しさというのは主観的なもので、西洋でよく使われる「黄金比」に対して、日本には「白銀比」が多くあるなど、文化的背景によっても基準が異なります。しかし世界中の数学者は「美しい」という言葉をよく使います。「この定理は美しい」とか「この式は美しい」などと言って、お互いに共感あいます。一方、数学に関わっていない方は、普段の生活の中で、定理や式には出会わないでしょうから、「定理や式が美しいってどういうことだろう?」と思われることでしょう。この数学者の美的感覚は、どこかで習ったものではなく、いつのまにか身に付いているので、数学术語のようにきちんと定義することはできませんが、今回の講義では、できるだけ目に見える形で、その感覚をお伝えできたらと思います。

目で見て美しいと感じる形として、対称性があってバランスがいいものを思い浮かべるかもしれません。いろいろな図形を扱う数学は幾何学と呼ばれますが、図形の対称性を数学的に調べる方法として、群という代数学を使うこともできます。そこで本講義では、日本に古くからある家紋の幾何学的な対称性を調べて、すべての家紋を分類してみたいと思います。

もしかしたら「我が家の家紋には対称性がない」とか「すべての家紋の分類を講義内でできるのか」と思われる方もいらっしゃるでしょう。ところが数学には、全ての可能性を考えて、分類をするための強力な道具があります。それは「同値関係」と呼ばれるものです。この道具を使うと、全てのものがきちんと分類されます。

この「同値関係」という道具は、大学以上の数学では頻繁に使いますし、数学以外でも便利です。とても本質的な概念ですが、中学や高校の数学ではあまり扱われない

ことは残念です。この「同値関係」を使うと、仲間外れも想定外もない、“誰一人取り残さない”理想的な分類が得られます。

数学はそういう美しい世界を目指している学問です。数学というのは、世の中にごちゃごちゃとあるものを、すっきりと見るメガネで、そのメガネをかけた数学者たちは理想的な完璧な世界を夢見る人たちなのです。そのせいか、映画などでは数学者は浮世離れた変人のように登場することもあります。彼らもまた美しい数学の世界の住人なのだと温かい目で見守ってもらえると嬉しいのです。

以下に、この講義で用いる「同値関係」の定義と家紋の例をあげておきます。

定義（同値関係）

空でない集合Sのどんな3つの要素A, B, Cに対しても、次の三条件がなりたつとき、関係 \sim を同値関係と呼びます。(A \sim Bと書いてある部分は、「AはBと同じ」と読むと理解しやすいです。)

- (1) A \sim A (反射律)
- (2) A \sim Bならば B \sim A (対称律)
- (3) A \sim BかつB \sim Cならば A \sim C (推移律)

いろいろな家紋 (1)三つ巴 (2)桔梗 (3)橘 (4)桐 (5)違い升到桔梗



講師のプロフィール



目で見て美しいと感じる形はどんなものでしょうか。対称性があってバランスがいいものも多いかもしれません。その対称性を数学で説明することによって、数学における“誰一人取り残さない”美しい分類についてもお話ししたいです。

いとう ゆかり
伊藤由佳理

カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

専門分野 数学（代数幾何学）

最近の研究テーマ

特異点と特異点解消

最近の主な著書

『美しい数学入門』（岩波書店、2020）

『研究するって面白い!』（共著、岩波書店、2016）

『この定理が美しい』（共著、数学書房、2009）

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

ヘルマン・ヴァイル（遠山啓訳）『シンメトリー』（紀伊國屋書店、1970）

HP <https://db.ipmu.jp/member/personal/5393ja.html>

中国音楽における科学と美学

東洋文化研究所・准教授 田中 有紀

前近代中国の音楽は、伝統的な学問分類に依拠すれば、「経学」と「藝術」に分けられます。「経学」は四書五経に関する儒家の学問を指し、専ら音律学が探求されました。音律学と関連し、天文学や度量衡といった「技術」を論じる儒家もいました。「藝術」には、「琴棋書画」というように、琴などの伝統楽器の演奏技術や楽譜などが、囲碁や書、絵画とともに含まれます。本講義では、このような科学・技術的側面を持ちつつ、藝術的な要素もある中国音楽から、中国伝統文化が理想とした「美」とは何かについて考えます。

そもそも中国音楽の美はどのように論じられてきたのでしょうか。「中国音楽美学」を称する研究では、中国音楽は「西洋の音楽と異なる」「美よりも善を重視する」「音楽による人格の陶冶を行う」ということが主張されます。とりあげる題材としては、まずは孔子です。『論語』の「詩に興り礼に立ち楽に成る」をとりあげ、孔子は音楽を人格形成の最終段階として重視したといえます。そして老子や荘子は、儒家の音楽を否定し、道と一体化するための音楽を志したといえます。さらに魏・嵇康は、音楽と政治や人間の感情を強く結びつけた儒教を批判し、純粋な音楽藝術を論じたとされます。このような流れが「中国音楽美学」の定番であるといえるでしょう。一方、西洋美学の専門家、たとえば今道友信は『論語』の記述から「芸術は…人間精神が発見する精神の美を求めている」（『美について』、講談社、1973、p.164）とし、芸術が普遍的に持つ特徴を描き出しています。中国独特の美学を見出すか、普遍的な美学を見出すかの差はあっても、中国の藝術を美学の問題として論じる際には決まった流れがあることがわかります。すなわち美学として音楽を論じられるのは孔子と老荘思

想・嵇康ばかりであり、その後に美学の問題となるのは、主に絵画や詩文であるという流れです。しかし、ある時から音楽が美学でなくなり、絵画がそれに代わるのも不思議な話です。音楽は、美学の問題に入らず、完全に「経学」としてしか論じられなくなったのでしょうか。あるいは「藝術」として、演奏の技術が追求されるだけになったのでしょうか。前述したように、音楽には「経学」的側面と「藝術」的側面があり、両者とも、一人の人間、一つの時代の中で、分かちがたく一体のものとして存在していました。私は、それらがどのようにつながりあっているのかを理解して初めて、その人、その時代の音楽の美学を分析することができるのではないかと考えます。

私は主に、宋～明代の音律理論を研究してきましたが、本講義ではその研究を活かしながら、主に魏晋南北朝時代の音楽の理論を取り上げます。佐々木健一が指摘するように、美という概念が「ある物ある事態の完全性もしくは価値が、端的な形で直感的もしくは直観的に、快や感嘆の念をもって把握された場合の、その完全性をいう」(『美学辞典』、東京大学出版会、1995、p.12)のであれば、魏晋南北朝時代の音楽の「美」を論じることもできるし、またそうではなく、もっと理智的な「美」を求めるのであれば、この時代に様々に展開された音律学が目指したものと重なるでしょう。魏晋南北朝時代では、儒学の音楽論を批判した嵇康が「声無哀楽論」を書き、玄学を背景に、道徳や政治の善悪とは距離を置く音楽を模索しました。また様々なジャンルの音楽が深められると同時に、音律学においては、銭楽之が伝統的な音階計算法である三分損益法をさらに進め、何承天は、三分損益法で律の長さを計算し、その律に、1オクターブで生じる差を均等に配分した新律を作りました。さらに荀勗は、三分損益法で得た律長を笛に応用して、いわゆる管口補正を行いました。本講義では中国の人々が「経学」と「藝術」とを交差させながら、どのような音楽を理想的だと考え、どのような美学を生み出したのかについて考察します。

講師のプロフィール



た な か ゆ う き

田中有紀

東洋文化研究所・准教授

専門分野 中国思想史、中国音楽史

最近の研究テーマ

清の思想家江永の音楽・数学・天文学に関する思想

最近の主な著書

『宋元明士大夫と文化変容』（共著、汲古書院、2023年）

『宋代とは何か：最前線の研究が描き出す新たな歴史像』（共著、勉誠出版、2022年）

『音楽を研究する愉しみ：出会う、はまる、見えてくる』（共著、風響社、2019年）

『中国の音楽思想：朱載堉と十二平均律』（東京大学出版会 2018年）

『中国の音楽論と平均律－儒教における楽の思想』（風響社 2014年）

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

田中有紀編『東アジア音楽思想における「和」』（東アジア藝文書院、2020年）

HP <https://www.ioc.u-tokyo.ac.jp/faculty/prof/yuki.html>

中国音楽に馴染みのある方は多くはないと思います。しかし、中国音楽の背景にある思想には、意外にも私たちの考え方に生き続けている部分もあります。東アジアに生きる私たちが、これからの時代に求める「美しさ」とは何でしょうか。一緒に考えていきたいと思っています。

Memo

Handwriting practice area with 20 horizontal dashed lines.

すべては遊びから始まる —ゲーム研究の現在地

人文社会系研究科・准教授 吉田寛

遊びやゲームは、われわれの生活にとってきわめて身近でありふれたものでありながら、役に立たない無駄なものとして軽視されがちです。そのことは遊びやゲームを対象とする学問研究にもあてはまります。遊びやゲームは、人間の創造性や協調性を理解する鍵として、古くから哲学や人類学、心理学、教育学などの領域で注目されてきましたが、それらを正面から取り扱う専門的研究分野は長い間ありませんでした。

こうした状況に変化の兆しが現れたのは、1990年代後半から2000年代初頭にかけてのことです。「遊びの学」を意味する「ルドロジー (ludology)」という新たな学問分野が提唱され、コンピュータゲームのデザイナーや研究者らが中心となって、〈ゲーム〉の本質をめぐる議論が展開されました。参加者が自らの個人的体験を創造するための条件と規則 (クロフォード)、参加者が目標達成を目指して行う意思決定 (コスティキャン)、物語を生成する枠組み (フラスカ)、世界のなかのパターンの図像的描写 (コスター)、規則と虚構のインタラクション (ユール) といった多様な観点でのゲームの定義が、そこから出現しました。

このルドロジーが土台となり、2000年代前半に「ゲーム研究 (game studies)」が成立します。『ゲーム研究』(2001年)と『ゲームと文化』(2006年)という二つの学術雑誌が創刊され、2003年には国際学会である「デジタルゲーム学会 (DiGRA)」が設立されました。2006年にはその日本支部である「日本デジタルゲーム学会 (DiGRA JAPAN)」も発足しています。ゲーム研究は、いわゆる文理横断型の学際的ディシプリンであるばかりでなく、大学の研究者と企業の開

発者、つまりアカデミズムと産業界の双方を巻き込んでいるところに、その特徴があります。

ゲーム研究は、人文科学や社会科学のみならず、形式科学（数学、情報学）や自然科学（医学、生物学）をも巻き込む学際的ディシプリンとして現在展開しており、その対象も、ゲームそれ自体の技術やデザイン、プレイヤーの心理や身体反応、ゲームとプレイヤーを取り巻く文化や社会など、多岐にわたっています。講師自身はこれまで、デジタルゲームにおける知覚と認知、ゲームプレイとプレイヤー、ゲームのメディアなどを主な研究対象としてきました（その成果は『デジタルゲーム研究』（2023年）にまとまっています）。そのなかから本講義では、最新の研究動向の一例として、「メタゲーミング」というトピックを紹介します。

「メタゲーミング (metagaming)」とは、あるゲームのまわりに別のゲームを発生させることを指します。「ゲームを使って別のゲームをすること」とも言えます。「ゲームを遊ぶ (play games)」と「ゲームで遊ぶ (play with games)」を区別するなら、メタゲーミングは後者に属します。絶えざる「フレームの更新」による「メタコミュニケーション」として遊びを説明したベイトソンの説に依拠するなら、メタゲーミングは、人間がもつ発見的で創造的な能力が最大限に発揮されている現代の文化実践と言えます。本講義がとくに注目したいのは、オリジナルなルールを追加したり、そのインターフェイスを変更したりすることによって、誰もが知る既存のゲームを、まったく別の遊びのための道具に変えてしまうYouTuberやアーティストの実践です。今日ゲームは、単に「遊ぶためのもの」であることをこえて、「それを使って新たに何かを生み出すもの」になっているのです。

受講者の皆様が、身近な遊びやゲームの意義や価値を見直すきっかけになれば、嬉しいです。ぜひ一緒に遊びましょう！

講師のプロフィール



よしだ ひろし
吉田 寛

人文社会系研究科・准教授

専門分野 美学芸術学・感性学

最近の研究テーマ

遊びとゲームの創造性

最近の主な著書

『デジタルゲーム研究』（東京大学出版会、2023年）

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

中川大地『現代ゲーム全史——文明の遊戯史観から』（早川書房、2016年）

イエスパー・ユール『ハーブリアル——虚実のあいだのビデオゲーム』（松永伸司訳、ニューゲームズオーダー、2016年）

松永伸司『ビデオゲームの美学』（慶應義塾大学出版会、2018年）

小林信重編著『デジタルゲーム研究入門——レポート作成から論文執筆まで』（ミネルヴァ書房、2020年）

「ゲーム研究」という、ちょっと変わった学問をやっています。でも「遊びやゲームが、人間を理解するための最大の鍵である」と本気で信じています。仕事と遊びの区別がつかない人間ですが、よろしくお願いします！

Memo

Handwriting practice area with 20 horizontal dashed lines.

人工知能は美や感性を理解するのか

情報理工学系研究科 教授 山崎俊彦

人は、例えば画像や絵画に美を見出すことができます。また、感情や印象を想起することもあるでしょう。本講義では、「美」の理解、あるいは活用において、(情報)科学がどういう役割を果たしているのか、研究事例を交えながら考えます。

具体的には、下記に示したテーマについて講義を行います。

●AIは画像をどのように見ているのか?

AI以前とAI以後の画像の見方の違いや、深層学習(ディープラーニング)がそれまでの技術と比較してどうすごいのかについて簡単な解説を行います。

●AIは画像から「美」や人が想起する「感情」を予測することができるのか?

我々人間が美しいと思う感覚や、画像が人に想起させるであろう様々な感情はどこから生まれるのでしょうか?また、AIは人間と同じようにそれらを感じることができるのでしょうか。いくつかの研究例について紹介します。

●AIは画像が人に与える印象を予測できるのか?

美や感情と近いものとして、例えば記憶への残りやすさや好意度などの「印象」も挙げることができます。AIはこの印象についてどれくらい予測できるものなのでしょうか。また、例えば記憶に残りやすいテレビCMは映像が素敵だからでしょうか、音楽の影響でしょうか、はたまたタレントさんの影響でしょうか。それをAIで予測・分析できるのでしょうか。これらについて、研究事例を紹介します。

●AIによって感情・印象を予測することは我々の生活にどのような影響を与えているのか?

仮にAIを使って美や感情・印象を予測できたとして、それが我々の生活にどのように関わってくる可能性があるのでしょうか。我々はそのようなことができるAIをどのように使いこなせばよいのでしょうか。事例を交えながら議論します。

●AIは能動的に人の感情・印象に訴えかけることができるのか？

予測するだけでなく、AIをつかって能動的に人間の感情・印象に訴えかける何かを

講師のプロフィール



やま さ き と し ひ こ
山崎俊彦

情報理工学系研究科 教授

専門分野 人工知能、画像認識、マルチメディア

最近の研究テーマ

魅力工学(刺さる・映えるなどの共感・共鳴を科学的に分析する)

HP <https://www.cvm.t.u-tokyo.ac.jp/>

我々がヒトやモノ、サービス等に対して感じる「魅力」や「共感」に興味があります。なぜ、どのように人がその魅力を感じるのかを解析し、魅力度の予測や要因解析、魅力度向上などを行う研究に取り組んでいます。

Memo

A large rectangular area with rounded corners, containing 20 horizontal dashed lines for writing.



The University of Tokyo
Communication Center

東京大学コミュニケーションセンター(UTCC) 商品のご案内

東京大学のオフィシャルショップです。本郷キャンパスご来訪の記念にお立ち寄りください。

清酒「淡青」

特別純米 (720ml)

1,980円

純米大吟醸 (720ml)

化粧箱入り

4,120円

※売上の一部は校友会活動に還元されます。

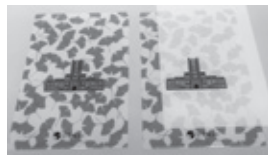


清酒「尾神」

純米吟醸

3,300円

(720ml)



マジッククリアファイル

450円 (A4サイズ)

※中に白い紙を入れると葉の色が緑から黄色に変わります。



蓮香

あぶらとり紙

660円 (100枚入)

蓮香 ネイルオイル

1,650円 (8ml)



蓮香

オードパルファム

2,500円



ユーグレナクッキー

550円

(5枚入・個包装)

体力式[®]

アミノ酸ゼリー

1個 180円

1箱 (18個入)

2,980円



店舗のご案内

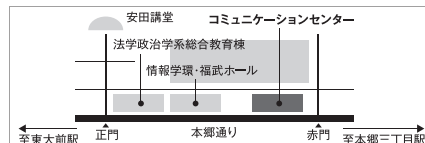
コミュニケーションセンター

本郷キャンパス赤門北隣



営業時間: 10:00~18:00

定休日: 日曜、祝日



東京都文京区本郷7-3-1

東京大学コミュニケーションセンター
(UTCC) オンラインストア

UTCC 検索 <https://utcc.u-tokyo.ac.jp/>

商品の詳細や御注文、新商品情報はウェブサイトまで



電話でのご注文も
お待ちしております

☎03-5841-1039

〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1
東京大学本部社会連携推進課 公開講座担当
E-mail : ext-info.adm@gs.mail.u-tokyo.ac.jp