

CROSS T&T

Comprehensive Research Organization for Science and Society

No.82

2026.2

Top Title 食品科学の現在地

早川 文代

高妻 孝光

高木 秀彰

中川 洋

瀬戸 秀紀 ● 岩瀬裕希

つくばからの発信

岡田 和歩

Today & Tommorrow (今日・明日)

永野 博

東海からの発信

鈴木 学

大内 和希

久米 卓志

筑波研究学園専門学校

木村 祐介

【表紙写真】東海村発足 70 周年記念のデコレーションを施した JR 東海駅の階段。
関連記事は 30 ページ。

一般財団法人 総合科学研究機構

CROSS T&T 82 目次

Top Title (特集) 食品科学の現在地

食感覚表現の体系化による官能評価の新たな展開 ～米を例に考える～	早川 文代 農研機構 食品研究部門	1
コーヒーは研究の友 楽しみながら健康と美容にも役立てよう	高妻 孝光 日本コーヒー文化学会常任理事	5
白い色にはわけがある 牛乳のミクロ構造研究の最前線	高木 秀彰 高エネルギー加速器研究機構	9
干し芋の『しっとり感』を計測 ～中性子線を利用した食品のミクロ構造の解析～	中川 洋 日本原子力研究開発機構	13
中性子散乱による食品科学研究最前線 第 31 回 CROSSroads Workshop を開催	瀬戸 秀紀 岩瀬 裕希 総合科学研究機構 中性子科学センター	16

Today & Tomorrow (今日・あす)

若手研究者支援制度とノーベル賞 坂口志文博士の受賞に寄せて	永野 博 政策研究大学院大学	19
----------------------------------	-------------------	----

Tsukuba (つくばからの発信)

キントレが材料を強くする き裂“発生”の抑制で高強度鋼の疲労限度を2倍化	岡田 和歩 物質・材料研究機構	23
CROSS 2025 総合科学市民講座を開催	CROSS T&T 編集部	28

Tokai (東海からの発信)

村民の記憶に残る村発足 70 周年記念を目指して ～史上最弱メンバー!? によるドタバタ奔走記録～	鈴木 学 東海村役場 政策推進課	30
花王の化粧品：研究開発の現場から 中性子計測を利用して性能の源を探る	久米 卓志 花王 解析科学研究所	36
劣化ウランを資源化した新しい蓄電池 原子力と再生可能エネルギーとの相乗効果を最大限に	大内 和希 日本原子力研究開発機構 NXR 開発センター	40

Tutorial (筑波研究学園専門学校発)

記号論による保育者としての絵本選び —絵本は今日も静かに、小さな心に大切な種を蒔く—	木村 祐介 筑波研究学園専門学校 こども未来学科	44
---	-----------------------------	----

Cross Release (最近のプレスリリースから)

ゲノム編集で「3高」作出に成功	相澤 冬樹	18
CROSS ロード J-PARC の中性子回折装置、ノーベル化学賞関連研究に活用		22
短歌	松崎 健一郎	29
俳句	山口 恭弘	39
CROSS の動き		47

食感覚表現の体系化による官能評価の新たな展開 ～米を例に考える～

農研機構 食品研究部門 早川 文代

1. 官能評価とは

食品の分析や品質評価にはさまざまな方法がありますが、その中でも「食べたときに人がどう感じるか」を把握することは非常に重要です。たとえば栄養価が高い食品や、環境負荷を低減して生産された食品素材であっても、味や食感が好まれないければ、消費者の選択や摂取行動にはつながりません。

この「食べたときの感じ」を最も直接的に測定する方法が官能評価です。官能評価とは、目・鼻・舌などの人間の感覚器官をセンサーとして用い、対象物の特性に対する人の反応を測定・解析・解釈する手法です。食品企業の製品開発や品質管理だけでなく、大学や研究機関における基礎研究・応用研究でも広く利用されています。

官能評価を単なる「味見」ではなく科学的な分析手法として成立させるためには、評価条件を厳密に管理する必要があります。例えば、評価環境の影響を最小限にするために個別ブースで評価を行う、試料に3桁のランダムコードを付与する、評価試料の呈示順序を評価者ごとにランダム化する、試料の温度や量を一定に保つ、などの工夫が求められます。また、官能評価用紙についても、評価項目、尺度、説明文などを十分に検討し、適切に設計することが重要です。

2. 官能評価用語体系とは

官能評価用紙を設計する際には、「かたさ」「しつとり感」など、評価項目とする用語を慎重に選定する必要があります。言葉が曖昧では、評価の精



写真1 官能評価ブースの例

度や信頼性の低下につながるからです。著者らは、これまで、さまざまな食品を対象に官能評価を行ってきましたが、その経験から、最も時間と労力を要する工程は、適切な用語を用いた評価項目の設定と、各項目の意味について評価者間で認識を共有するプロセスだと感じています。

官能評価の研究分野では、評価に用いる言葉の曖昧さを減らし、効率的に評価を設計するために、さまざまな食品について「官能評価用語体系」が作成されています。官能評価用語体系とは、評価項目として使用できる候補用語を収集・整理し、それぞれの用語の意味を明確にしたうえで、一定の規則に従って体系的に配置したものです。このような用語体系を整備することで、その食品のおいしさを構成する要素を俯瞰的に把握できるだけでなく、個々の要素についても明確に理解できるようになります。著者らもこれまでに、コーヒー¹⁾やパスタ²⁾などを対象とした官能評価用語体系を作成し、公開してきました。

3. 米飯の官能評価に関する近年の課題

米飯の官能評価は、稲の品種育成、栽培方法の

検討、米の格付け、精米工程、米飯製品の製造、さらには炊飯器などの炊飯関連製品の開発など、幅広い場面で実施されています。近年は、多様な特徴をもつ良食味米が次々と市場に投入されているだけでなく、気候変動に対応するために、高温や強風への耐性と良食味を兼ね備えた品種も登場し、注目を集めています。また、輸入米、ブレンド米、貯蔵米など、従来とは異なる種類の米を選択する機会も増えています。

一方で、中食・外食産業における業務用米飯の流通量も増加しており、常温、チルド、冷凍といった多様な形態の米飯が市場に流通しています。炊飯前の米であれ、炊きあがった米飯であれ、生産者、流通業者、外食産業、そして消費者のいずれにとっても、これまで以上に多様な選択肢が存在する状況となっています。

このような背景から、さまざまな米や米飯の特徴を的確に示すために、米飯の官能評価には、より高い精度と迅速性が求められています。米飯の官能評価は「食味試験」とも呼ばれます。1960年には、旧食糧庁の通達「国内産米の産地別、品種別、格差の調査について」を受け、農林省食糧研究所（現・農研機構食品研究部門）が開発した方法を基にした「米の食味試験実施要領」が全国の食糧事務所に周知されました³⁾。当時の解説で、成分分析だけでなく、実際に食べて評価することの重要性や、食味試験を正確な手順で行う必要性が強調されていました⁴⁾。

この試験法では、「外観」「味」「香り」「粘り」「硬さ」「総合評価」の6項目が設定され、後に各

表1「米の食味試験実施要領」の項目定義例

外観

先づ、ご飯の外観を観察します。着眼点は、ご飯の艶の良否・白さ・胚芽の程度・ご飯粒の構成（碎米・煮崩れ状態）・粒の形の整否・粒面の花咲き具合等。これ等を総合的に判断します。

味

いわゆるご飯のうまみで、喉ごしの感じの良い滑らかさ、噛んでるうちに感ずる僅かな「あま味」などに着眼します。

品質評価基準に関する研究会報告書⁵⁾より抜粋。基準米と比べて良い⇔同じ⇔不良を7段階（かなり、少し、わずかに）で評価する。

項目の評価観点も明確化されました⁵⁾。現在も、この試験法を改良した方法が広く利用されています。しかし、この方法にはいくつか課題があります。まず、「総合評価」には良否の判定が含まれるため、評価者の総合的な判断力が求められます。また、「外観」や「味」などの項目も多次的であり（表1）、初心者には判断が難しく、熟練した評価者でなければ妥当な結果を得にくいという点があります。さらに、近年の多様な良食味米や業務用米飯の特性を考えると、従来の6項目だけでは特性を十分に捉えきれない可能性があります。そのため、評価の目的に応じて、6項目に加えてより詳細な評価項目を追加する必要性が高まっています。

米飯を食べたときに感じられる特性を表す言葉には、「ふっくら」「粒立ちがよい」「甘い香り」「もちり」など、多様な表現が存在します。しかし、これらの言葉は整理されておらず、官能評価の場面でも品質情報を伝える場面でも、言葉は曖昧なまま使われてきました。前述の通り、用語体系が整備されていれば、官能評価の設計や品質情報の共有において、客観的な参照資料として活用できます。そこで著者らは、2021年に米飯の官能評価用語体系の構築に着手しました。

4. 米飯の官能評価用語体系の構築⁶⁾

米飯の官能評価および食品全般の官能評価に十分な経験をもつ13名に、さまざまな米飯を実際に試食して感じられた特性を記述してもらい、用語を収集しました。試料には、2020年度の作付上位20品種（全流通量の約80%）に加え、でんぷんの構成などが特徴的な12品種を含む、計32品種の2021年産精白米を用いました。収集した表現について、表記ゆれや明らかな類義語を整理した結果、278語のリストが得られました。

次に、業務用米飯に特有の表現を補うため、専門家6名による試食を伴う討議を実施しました。試料には、前述の32品種から選定した5品種について、0・2・4・6時間保温した米飯、常温・チルド・冷凍の流通米飯、市販のおむすび・弁当の米飯、さらに包装米飯（いわゆる「パックご飯」）を用いました。その結果、25語が追加され、用

語リストは303語となりました。

さらに、上記の方法では得られない語を補うため、1990～2024年に発表された米飯の官能評価に関する論文・総説252報、および専門書やカタログ26冊を調査しました。抽出した語を整理して新たに26語を追加し、329語から成る用語リストが得られました。

これら329語について、専門家6名による討議を行い、各用語に定義を付与しながら整理・分類しました。その結果、最終的に、外観31語、香り23語、味・風味31語、食感35語の計120語から構成される米飯の官能評価用語体系を構築することができました(表2)。

5. 用語体系の官能評価への利用

用語体系を参照資料として活用することで、官能評価をより効率的に実施できると考えています。典型的な利用方法として、簡易的な官能評価であるCATA(Check-All-That-Apply)法、定量的官能評価である採点法、自由記述式での評価が挙げられます。利用例のイメージを図に示しま

【簡易的官能評価の例】



【定量的官能評価の例】

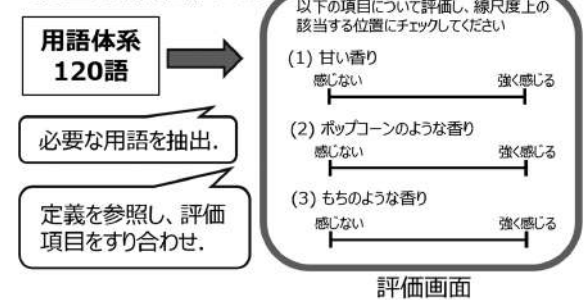


図1 用語体系の官能評価への利用例

した。

CATA法は、評価者に用語リストを提示し、試料を評価しながら、あてはまると思うすべての用語をチェックしてもらう方法です。この方法で

表2 米飯の官能評価用語体系(一部)

大分類	小分類	用語	定義	補足	類義語・対義語
外観	色	白い	くすみ、黄色み、茶色みがなく、全体的に全体的に白い状態。胚芽残りや背筋の皮残り、黒点が目立たない状態。	搗精の程度、品種、登熟期の温度、蛋白質含有率、炊飯条件等が影響する。...	
		くすんだ	灰色がかった色あい。	蛋白質含有率が高いとくすんだ状態となる。ネガティブな表現として使われる。	ぼやけた、明るい
	つや・透明感	つやがある	粒表面で光が反射して、粒が光っているような様子。	粒表面が「おねば」で覆われていることによる。業務用米飯では油脂によることもある。...	マットな
香り	甘い香り	甘い	米飯特有の甘い香り。	ポジティブな表現として使われる。	ひなあられのような
		ポップコーンのような	ポップコーンのような香り。香り米に感じられるような特有の甘い香り。		香り米のような、ジャスミンライスのような

は、試料の特徴を迅速に把握できます。従来は、CATAで使用する用語リストの作成には十分な検討が必要でしたが、用語体系を参照すればリストの作成がスムーズに進みます。また、120語すべてをリストに含めたとしても、120語程度であれば運用可能です。

採点法では、実験目的に応じて担当者が項目を設定する場合と、評価者が予備評価で挙げた用語を基に討議して項目を決定する場合があります。項目が決まった後は、各項目に定義を付与し、予備評価と討議を繰り返して本評価へと進みます。この一連のプロセスに用語体系を活用することで、用語の選定や定義づけ、定義の共有が容易になり、評価設計にかかる工数を大幅に削減できると考えられます。

自由記述形式の官能評価においても、用語体系は有用な支援ツールとなります。評価者がコメントを記述する際に用語体系を参照することで、意図がより正確に伝わるようになります。また、コメントの解釈におけるばらつきも抑えられます。

農産物の評価では、経年変化などを調べるために、これまで受け継がれてきた方法でデータを継続的に取得することに大きな意義があります。しかし近年、従来の評価法だけでは捉えきれない「おいしさ」の側面を評価する必要性が高まっています。言い換えれば、評価の網の目をより細かくし、評価範囲を拡張することが求められています。

これまでの米飯の官能評価は、経験豊富な評価者に依存する部分が大きく、ときに属人的な評価になりやすい傾向がありました。今回構築した用語体系を活用することで、「食べたときに感じる

特性」をより効果的かつ効率的に可視化・言語化できると考えています。これにより、官能評価は個人の経験や能力に依存した手法から、より組織的で再現性の高いプロセスへと移行できる可能性があります。

今後は、評価事例を蓄積しながら、必要に応じて用語体系の修正や拡張を検討していく予定です。本用語体系が、魅力ある米の生産や米飯の製造、多様な食シーンに適した米・米飯の提供に少しでも貢献できることを願っています。

用語体系は農研機構食品研究部門ホームページでも公開しています。

<https://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/terms/rice.html>

本稿の一部は、原著論文⁶⁾ から抜粋し、再構成したものです。また、米飯の官能評価用語体系に関する成果は、農研機構と伊藤忠食糧株式会社との共同研究によるものです。

- 1) Hayakawa, F. et al., Journal of Sensory. Studies, 25, 917~939 (2010).
- 2) Irie, K. et al., Journal of Sensory. Studies, 33, e12438 (2018).
- 3) 前田道雄, 産米改良, 8, 6~13 (1960).
- 4) 吉川誠次, 食糧管理月報, 12, 20~23 (1960).
- 5) 農林水産技術会議事務局, 品質評価基準に関する研究会報告書, 98~106 (1991).
- 6) 早川文代他, 日本食品科学工学会誌, 72, 177~201(2025).



早川文代 (はやかわ・ふみよ)

農研機構食品研究部門 食品流通・安全研究領域分析評価グループ長補佐。お茶の水女子大学大学院博士課程修了。お茶の水女子大学大学院助手、上海水産大学客員副教授等を経て、2004年食品総合研究所主任研究官。組織改組等により2021年より現職。専門分野は食品の官能評価で、特に、官能評価用語や用語体系に関する研究に従事している。1998年日本家政学会奨励賞受賞、2012年日本食品科学工学会奨励賞受賞。

コーヒーは研究の友

楽しみながら健康と美容にも役立てよう

日本コーヒー文化学会常任理事 高妻 孝光

このCROSS T&Tの読者の皆さんは研究、あるいは研究に関連しているお仕事をされておられる方が多数おられるかと思う。そして、日々、仕事の合間、ディスカッション、打ち合わせ等のシーンにおいて、コーヒーはかかせないものとなっているのではないだろうか。

さて、筆者は、中学生の時、いとこの家に行った際、サイフォンでコーヒーを入れてもらった瞬間、「なんて、すばらしい道具が世の中にあるんだろう！」と感激した覚えがある。ついには自分のサイフォンを手に入れ、大人達にコーヒーをふるまっていた。手引きのミルでゴリゴリと豆をひき、コーヒーをいれる。その頃、なぜだかウイナコーヒーに凝っていて、ホイップクリームを作り、これでもかというくらいにコーヒーにのっけて飲んでた。今から、50年ほど前の話。まさにそのときが、コーヒーとのつきあいが始まった瞬間だった。

現在、コーヒーの抽出は、ペーパーフィルターによるドリップコーヒーが主流となっていると思うが、一般的に使われる抽出器具として、ネルドリップ、パーコレーター、サイフォン、フレンチプレスがある。私は、メインがネルドリップ、その次にペーパードリップ、そしてサイフォン、フレンチプレスを愛用している。

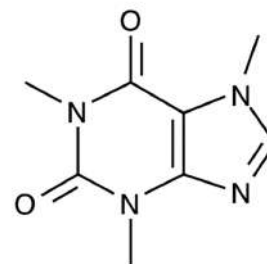
そのような背景から、日本コーヒー文化学会と出会い、いろいろな方々から、コーヒー文化、コーヒー科学についてご教示いただいた。冒頭ではあるが、コーヒーに関する様々なことが、近年、日本コーヒー文化学会の30周年記念事業として出版された「専門家が語る！コーヒーとっておき

の話」¹⁾に紹介されているので、ぜひ、併せて読んでいただけたらと思う。本稿は、その本に寄稿させていただいたものを元にしている。

コーヒーの生理活性成分

コーヒーは、アカネ科に属し、実に様々な生理活性のある化学成分を含んでいる。コーヒーに含まれる化学成分のうち最もポピュラーなものがカフェインであろう。カフェインは、プリン骨格を有し、同じくプリン骨格を有するアデノシンの受容体に対して抑制的に働くアンタゴニストである。脳内においては、2型アデノシン受容体(A2A)の機能を抑制することになり、覚醒させる²⁾。つまり、目が覚めることになる。

食べ過ぎで肥満になったマウスでは、視床下部に1型アデノシン受容体(A1R)が増えていて、それが過食と肥満の原因になっている。カフェインは、A1Rに対しても抑制的に働く。カフェインを使ってA1Rを抑制すると、オキシトシン分泌量が増えて、食欲が抑えられ、体重が減ることが知られている。愛情ホルモンとも呼ばれるオキシトシンは、ストレス解消の効果を示す。よく言われ



カフェインの化学構造式

る幸せ太りとはちょっと異なるところが面白い。

白熱しそうな会議の前には、コーヒーを飲んでオキシトシンを分泌させると、落ち着いた会議になるかもしれない。カフェインはコーヒーだけでなく、お茶にも入っている。なるほど、会議、打ち合わせでお茶やコーヒーがあるのはそういうことなのかもしれない。

ストレスというのは、様々な社会シチュエーションで重要である。そこで、もう少しだけ付け足しておきたい。ストレスがかかると、視床下部-下垂体-副腎を通して、ストレス物質であるコルチゾールが分泌される。長期にわたってストレスがかかり、コルチゾールが常に高いレベルに維持されると、神経細胞の萎縮が起こることが知られている³⁾。コルチゾールは、通常、身体の中で、ストレス作用をもたないコルチゾンへと変換されるが、コルチゾンはコルチゾールへも逆変換される。しかし、コーヒーに含まれるカフェインは、この逆変換を行う酵素を阻害し、コルチゾールのレベルが高くなるようにする。

コーヒーには、多くのポリフェノール類が含まれている。代表的なものとして、クロロゲン酸、カフェ酸がある。クロロゲン酸が示す、抗酸化、抗炎症作用は、カフェ酸とフェルラ酸によるものであり、活性酸素を除去し、AMPK（AMP依存性キナーゼ）という酵素を介して、糖質と脂質の代謝を調節、炎症性サイトカインの産生を抑制、抗炎症性の転写因子を活性化し、炎症性転写因子を抑制する。クロロゲン酸を含むコーヒーポリフェノール飲料の摂取により、顔面や下肢での角質水分が増え、ストレス症状の改善が認められたということが報告されている⁴⁾。

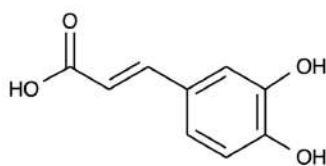
コーヒーの生豆にはトリゴネリンという化合物が存在している。マウスでの研究ではあるが、トリゴネリンには、認知機能の改善効果があること

が知られている。高い集中力が必要な研究現場では、トリゴネリンを供給するコーヒーはやはり重要である。

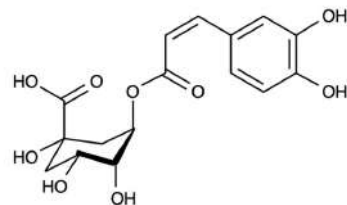
桜島大根やフェネグreekも、トリゴネリンを豊富に含んでいる。コーヒーの場合は、焙煎を行うことにより、トリゴネリンは、ニコチン酸へと変わる。ニコチン酸は体の中のいろいろなところで機能するNAD⁺（ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド）の主要部分となる。NAD⁺が欠乏すると、やがては死にいたるペラグラという病気になる。焙煎によってニコチン酸が増えてくる一方、ポリフェノールであるクロロゲン酸は減少してくる。なかなか一挙には、うまくはいかないものである。ニコチン酸は、ニコチンという言葉のイメージがネガティブなため、別名、ナイアシンとよばれる。しかし、現在市販されているナイアシンは、ニコチン酸ではなく、ニコチンアミドである。若い人は、ニコチンアミドを再利用することが可能であるが、加齢とともにこの仕組みは衰えるため、ニコチン酸を摂取する必要がある。ニコチン酸は、体の中では、トリプトファンから合成されるため、トリプトファンが豊富な食事をとることが重要であるが、やはり間に合わないので、何らかの形でニコチン酸を取る必要がある。つまり、コーヒーはニコチン酸の供給源ともなるのである。

コーヒーと高血圧

肝臓から出てくるレニンという酵素は、腎臓のアンギオテンシノーゲンというペプチドを切断し、アンギオテンシン1を作る。作られたアンギオテンシン1はアンギオテンシン1変換酵素(ACE1)によって、アンギオテンシン2になる。このアンギオテンシン2は、腎臓におけるアルドステロン分泌を高め、血圧を上昇させる。このため、この仕組みを担う腎臓や肝臓に障害があるために



カフェ酸の化学構造式



クロロゲン酸の化学構造式

起こる高血圧を、原発性高血圧とよんでいる。しかし、多くの高血圧は原因が不明であり、こちらは本態性高血圧とよばれている。本態性高血圧だからと安心せずに、塩分を控えめにし、運動をすることはとても大切である。

さて、血管は、柔軟なホースのようなものなので、ACE1が多くなって血圧が高くなると血管壁が弱くなり、心血管系疾患のリスクが高くなっていく。コーヒーに含まれるクロロゲン酸がこのACE1を下げてくれるということがみついている。つまり、血管の保護に役立つというわけである。また、コーヒーを焙煎するとメイラード反応が起こり、メラノイジンが生成するが、このメラノイジンは腸内細菌によって馬尿酸となり、ACE1を阻害することにより血圧が降下するか、または上がらないらしい。とはいうものの、重い心臓病にはカフェインはよくないので、重い心臓病の方は、コーヒーはデカフェで飲んだ方がいい。

岡希太郎博士（東京薬科大学名誉教授）は、長年にわたって、コーヒーと健康についての調査研究を行なっているが（医薬経済社プログ⁵）、いわゆる生活習慣が原因となって発症している2型糖尿病において、コーヒーを飲んでいる場合、全死亡リスク、心臓病リスク、脳卒中罹患リスク、網膜症罹患リスク、腎機能低下リスクが低下するとのこと。また、糖尿病予防効果は、デカフェのコーヒーでも認められることから、カフェイン以外の成分が関係しており、その中でもクロロゲン酸が抗酸化・抗炎症成分として最も期待される。コーヒーのクロロゲン酸は、腸内細菌によって、カフェ酸に分解され、カフェ酸は、肝臓で抗酸化・抗炎症作用のあるフェルラ酸となる。なるほど、腸内細菌も大切ということである。

コーヒーと生活習慣病

腎臓の機能を評価するものにeGFRという指標がある。健康診断では必ずチェックされているので、どうかご自身の数値を確認してほしい。eGFRは、腎臓の老廃物除去、つまりろ過機能を示している。このろ過機能が低くなると慢性腎臓病になるが、水分をよく摂って、コーヒーを飲むと慢性腎臓病を発症するリスクが減り、コーヒー

を1日3杯飲むことで発症リスクは9%減るといわれている。AMP依存キナーゼ（AMPK）は、からだの燃料計として働く酵素である。AMPKが機能することが健康にも美容にも重要である。AMPKの活性化は酸化ストレスや慢性炎症を抑え、老化防止につながる。このAMPKを活性するのがポリフェノールであり、まさにコーヒーに含まれるポリフェノールが活性を促す。

ストレスがかかると、抗酸化ストレス応答因子であるNrf2というタンパク質が発現される。この抗酸化ストレス応答因子であるNrf2は、プロコラーゲンに含まれるスルフォロファン、コーヒーに含まれるクロロゲン酸、カフェ酸、カフェオイルキナ酸でも活性化される。コーヒーに含まれるクロロゲン酸によってAMPKが活性化され、肝臓における脂肪酸合成が抑えられる。また、カスパーゼという酵素を抑制し、肝臓の細胞が死んでしまうことを抑える。さらに受容体TLR4に結合し、炎症性のシグナル伝達を抑制すると同時に、抗酸化に関係する因子（Nrf2）の発現を促して、炎症が抑えられ、肝臓が保護される。

ところで、肝臓での脂肪酸合成は通常起っていることであるが、お酒をいつもたくさん飲む、つまりお酒の強い方は、アルコールが酢酸に代謝され、過剰のアセチルCoAができて、肝臓に脂肪が蓄積し、脂肪肝へとなっていく。はたしてコーヒーがどのくらい助けてくれるかは定かではないが、浅煎りでクロロゲン酸の多いコーヒーは、少しは助けてくれるかもしれない。前述したクロロゲン酸の多いフェネグリークはカレーのスパイスとしても用いられるものである。通信販売でも手に入れることができるので、少し付け足すというのもいいかもしれない。

AMPKは運動によっても活性を受けることが知られている⁶。つまり、コーヒーを飲んで運動をすることは、まさに身体の若返り、健康維持につながる。運動によって脂肪組織からアディポネクチンというタンパク質も分泌されるようになる。このアディポネクチンは脂肪代謝を高め、インシュリンが効くようになり、肝臓の繊維化を防いでくれる。アディポネクチンは血管拡張作用もあり、動脈硬化の予防にもつながる。コーヒー

は、このアディポネクチンを高めるもののひとつとして知られている。

本稿は、冒頭で紹介したように、日本コーヒー文化学会の30周年記念事業として出版された「専門家が語る！コーヒーとっておきの話（旭屋出版）」の一部として執筆させていただいたものを、研究者や研究をサポートされる方向きにまとめなおしたものである。拙稿をまとめるにあたって、日本コーヒー文化学会の元副会長で東京薬科大学名誉教授の岡希太郎博士の膨大な文献調査を参照させていただきました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 専門家が語る！コーヒーとっておきの話, 日本コーヒー文化学会編, 旭屋出版(2023).
- 2) Zhi-Li Huang 1, Wei-Min Qu, Naomi Eguchi, Jiang-Fan Chen, Michael A Schwarzschild, Bertil B Fredholm, Yoshihiro Urade, Osamu Hayaishi, Adenosine A2A, but not A1, receptors mediate the arousal effect of caffeine, *Nature Neurosci.*, 208(7), 858-859(2005).
- 3) アンデシュ・ハンセン, ストレス脳, 新潮社 (2022).
- 4) クロロゲン酸を含むコーヒーポリフェノール飲料の摂取により、顔面や下肢での角層水分が増え、ストレス症状の改善が認められたということが報告されている。
上田早智江, 須摩茜, 田村亮, 片岡潔, 杉山義宣, 水谷仁, 高木豊, 皮膚の科学, 16,347-355 (2017).
- 5) <https://iyakukeizai.com/coffee-blog> 医薬経済 ONLINE 栄養成分ブレンドコーヒー
- 6) Berzigotti A, et al. Physical activity and liver diseases. *Hepatology*. 2016;63:1026-40, Berzigotti A, et al., *Hepatology*. 63, 1026-40 (2016).



高妻孝光（こうつま・たかみつ）

宮崎県出身、学術博士。大阪大学教養部化学教室助手、茨城大学理学部助教授、茨城大学量子線科学専攻教授を経て、茨城大学名誉教授、日本コーヒー文化学会常任理事

メール：takamitsu.kohzuma@me.com

インスタグラム: taka.kohzuma

FACEBOOK: kohzuma

白い色にはわけがある

牛乳のミクロ構造研究の最前線

高エネルギー加速器研究機構 高木 秀彰

牛乳はなぜ白い色をしているのか？

牛乳とその加工品は人類最古の飲食物の一つで、世界のいたるところで現在でも飲食されています。牛乳の色といえば皆さんはもちろん白い色を思い浮かべるとと思います。なぜ牛乳の色は白い色をしているのでしょうか？それにはもちろん理由があります。

空に浮かんでいる雲も白い色をしています。雨や雪となって地上に降ってきても水たまりは透明で白い色をしていません。白い絵の具のついた筆を洗うと、筆洗いバケツ内は白色の水になるのとは違います。雲は $1\mu\text{m}$ （マイクロメートル、 0.001mm ）程度の大きさの小さな氷や水滴が対流によって空に浮かんでいます。この小さな粒が太陽光を乱反射して白い色を呈しているのです。つまり、雲は絵の具のような色素によって色がついているのではなく、雲の小さな構造が光を乱反射して人間には白い色に見えるのです。

牛乳の白い色も雲と同じ原理です。牛乳にはさらに小さな $0.1\mu\text{m}=100\text{nm}$ （ナノメートル、 0.0001mm ）程度の粒が液中に含まれます。この小さな粒が光を乱反射して白い色に見えるのです。このように液中に小さな微粒子が分散したものを「コロイド」と呼び、高校の化学の教科書でコロイドの代表として牛乳がよく紹介されます。牛乳の加工品であるチーズやヨーグルトはこの小さな粒の凝集体であるために、これらも白い色をしています。

牛乳の構造はどうなっているのか？

牛乳中の小さな粒はカゼインと呼ばれるたんぱく質から構成されているため、「カゼインミセル」と呼ばれます。このカゼインミセルは 100nm 程度の大きさであることは分かっていますが、現代でも詳細な構造は分かっています。最新鋭のクライオ電子顕微鏡（2017年にノーベル化学賞を受賞）を使っても詳細な構造を特定できません。牛乳の構造が分からないということは、その加工品であるチーズやヨーグルトも基本構造は解明されていません。

電子顕微鏡観察でカゼインミセルの構造が特定できない主な原因はミセルと乳清（牛乳の溶液部分）のコントラストが小さいためで、写真で見るとミセル内部がモヤモヤした像が得られます。ミセル1個をまるまる透過して見るので、内部の構造が全て重なった写真となります。また、クライオは「凍結」という意味ですので、試料が凍結した際に元の構造が変わってしまったり、または破壊されている可能性は排除できません。さらに、他の電子顕微鏡観察でも試料を加工する必要があるため、これが電子顕微鏡観察の弱点とも言えます。

牛乳の重要な栄養素であるカルシウムもミセルの構造に寄与しています。カルシウムは可溶性で乳清中に溶けているものと、不溶化してミセル内部に内包されているものがあります。ミセル内の不溶性のカルシウムはリン酸カルシウムの微粒子（ナノクラスター）としてミセル内部に内包され、サイズに関しては所説あり、数nmの大きさだと

言われています。カゼイン分子内にリン酸基があり、このリン酸にカルシウムと乳清中の無機リンが結合して数nmのサイズとなると考えられています。この際、複数のカゼインのリン酸基を含んで1つの微粒子が形成されます。つまり、リン酸カルシウム微粒子によってカゼイン分子間は架橋され、カゼインがバラバラに分離されずに1つのミセルを形成していると考えられています。

カゼインミセル構造のモデル

牛乳の基礎研究は古くから、また世界中で行われています。膨大な研究の中から有力なモデルとして2つが提唱されています。1つ目はサブミセルモデルと呼ばれるもので、10nm程度のサブミセルがリン酸カルシウムの微粒子を介して凝集し、1つのミセルを形成するというモデルです(図1左)。2つ目はカゼインがアモルファスのように無秩序に広がり、その中にリン酸カルシウムの微粒子が分散するナノクラスターモデルです(図1右)。海外の研究者はナノクラスターモデルを支持する一方で、日本国内ではどちらのモデルも同時に支持する研究者が多い印象です(筆者の感覚です)。

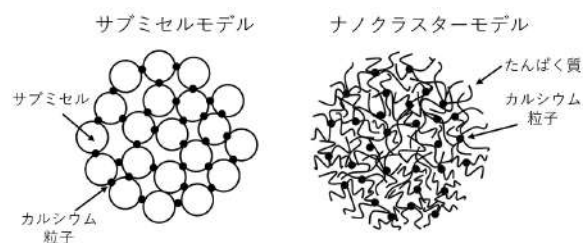


図1 左：10nm程度のサブミセルが数nmのリン酸カルシウムの微粒子を介して1つのミセルを形成するサブミセルモデル。右：カゼインたんぱく質がアモルファス状に広がり、リン酸カルシウムの微粒子が分散したナノクラスターモデル

量子ビームを使った散乱法から解き明かすカゼインミセル構造

中性子線やX線を量子ビームと呼び、これらを使った散乱法は試料を加工することなくそのままの状態で測定ができ、またビームを当てても試料(構造)が破壊されることもありません。従って、電子顕微鏡観察の懸念点を払拭できる手法です。

特に小角散乱法はナノ構造の評価に適した手法で、ポリマーのナノ構造やたんぱく質の立体構造の研究で多く利用されています。ただしデメリットとしては、顕微鏡観察のように写真のような分かりやすい結果ではなく、一次元プロファイルを解析するので非常に分かりにくく不慣れな人では簡単に解析できない点です。

放射光X線小角散乱法を使ったカゼイン構造の研究は、北海道大学の仁木らによって日本のフォトンファクトリーで実施され、放射光とカゼインの研究の世界初の論文となっています[1]。しかしながら、その後日本で酪農分野での量子ビーム研究は極めて限定的であり、量子ビーム施設が世界よりも充実している日本では世界に後れを取っていると言ってもいいかもしれません。一方で世界を見てみると、1980年代から中性子や放射光X線といった量子ビームを使ったカゼインミセル構造の小角散乱研究が主に酪農業が盛んなヨーロッパの研究者によっていくつか実施され、2000年代ぐらいからヨーロッパに加えアメリカやオセアニア地方などの研究者らによって本格的に始まりました。

研究初期の段階では単純な球や楕円体のモデルで実験データを^{フィッティング}fittingし、得られた構造パラメータを議論する研究がメインでした。その後、2010年に合理的な解析モデルが提唱されました。そのモデルはミセル内に硬い球状の領域を内包するモデルで、実験で得られた散乱曲線をほぼ完全に再現できる点は注目に値します[2]。その後カゼイン研究の世界的権威カール・ホルトが中性子小角散乱実験から結論付けた解釈をこの硬い領域を含むモデルに付け加えたモデルが現在世界でもっとも利用されています[3]。

ここから我々が実際に行った量子ビーム散乱実験について簡単に述べます。我々の研究グループは主に第三世代の大型放射光施設であるSPring-8(兵庫県佐用町)でカゼインミセルの小角X線散乱実験を実施しました。図2に実際に使用した装置の写真を示します。放射光X線は写真の左側から入射し、試料部に設置された試料にX線が照射されます。試料から生じた散乱光は空気での減衰を避けるために真空パスを通して検出器で検出さ

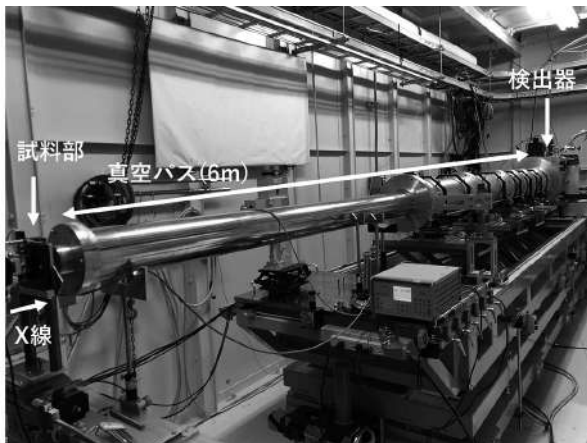


図2 大型放射光施設 SPring-8 の小角散乱ビームライン BL40B2 実験ハッチ内写真。左側からX線が試料部に設置された試料に照射され、散乱光が真空パスを通過して検出器に導入される

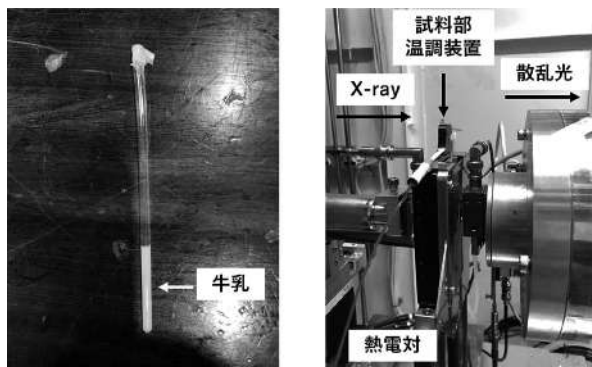


図3 左:脱脂した牛乳を厚み0.01mmの石英キャピラリー内に詰め試料として使用した。右:試料部を拡大した写真。牛乳は温度で敏感に構造を変えるので、熱電対で試料部の温度を測定しつつ温調装置内に石英キャピラリーを入れて実験を行った

れます。試料である牛乳は脱脂し、厚み0.01mmの石英製キャピラリーに詰めて使用しました(図3左側)。図3右側に図2の試料部の写真を示します。カゼインミセルは温度によって敏感に構造を変化させるため、熱電対で試料部の温度を測定しつつ牛乳を詰めた石英キャピラリーを入れて実験を行いました。

我々の研究グループは修正された硬い領域モデルについて計算式は妥当であると考えていますが、得られた物理パラメータの解釈に納得がいきませんでした。そこで我々の研究グループは硬い領域ではなく、水の領域が存在するモデルを提唱しました。そのモデルに従って計算した曲線と

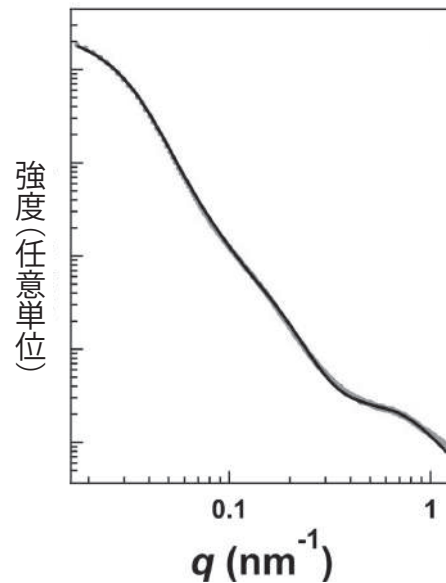


図4 実験で得られた散乱プロファイル(灰色)と水の領域を内包するモデルで計算した計算曲線(黒実線)(裏表紙にカラーで掲載)

実験で得られた散乱プロファイルを図4に示します。図中の灰色が測定データ、黒色の実線が計算曲線です。驚異的なまで実験カーブを計算曲線で再現できています。この水の領域はしばしば電子顕微鏡写真でも観察され、構造のサイズ等も電子顕微鏡観察結果とほぼ一致しています。ただし、現在我々が行っている最新の研究結果では水の領域と解釈するよりは、ミセルの外に小さなミセルが存在していると仮定して解析するとよりうまく実験結果が説明できる可能性が出てきました。水領域モデルと小ミセルモデルでは数式的には同じで式ですが、数式が意味するところの解釈を変更する可能性があります。まだ議論の余地が残っており、今後さらに研究を進めていきます。

カゼインミセルは電子顕微鏡の研究者の頭を悩ませましたが、同時に筆者も含めた散乱の研究者も頭を抱えています。その原因はX線と中性子で散乱プロファイルがわずかに異なることです。図5に中性子(SANS)とX線(SAXS)の小角散乱プロファイルを示します。X線ではショルダー状のピークが横軸 $q = 0.04, 0.15, 0.8 \text{ nm}^{-1}$ に観察されるのに対し、中性子では $q = 0.04, 0.35, 0.8 \text{ nm}^{-1}$ となり2つ目のピーク位置が異なります。これは縦軸の散乱強度がX線と中性子では異なるコントラストによるものと筆者は考えていま

(編集注) グラフの横軸 q は散乱ベクトル。ビームが試料にぶつかった後に進行方向がどの程度変化したかを表している。

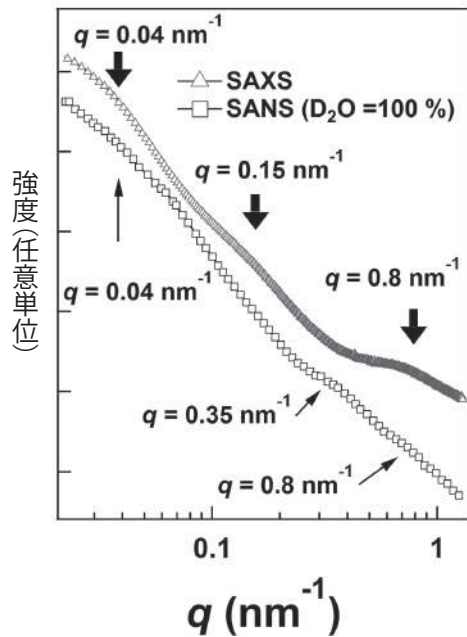


図5 X線(SAXS)と中性子(SANS)の小角散乱プロファイル。X線と中性子で2つ目のピーク位置が異なる。中性子では散乱強度のコントラストを大きくするために、粉末乳に重水を加えて乳に戻している

す。X線が電子による散乱で電子密度の濃淡を見ているのに対し、中性子は原子核による散乱で原子固有の散乱長密度の濃淡を見えています。このコントラストの濃淡の違いがミセル構造の詳細を解き明かす鍵だと思い、現在研究を進めています。

おわりに

牛乳の基本構造であるカゼインミセルは現代でも未解明で、世界中の研究者が構造を解き明かすために日夜研究を続けています。この記事では主に散乱法から見たミセルの構造を紹介しましたが、散乱法でもミセル構造の特定にはいまだ至っていません。この記事を読んだ若い学生さん、ミセル構造の長年の謎を解明するために研究者になってみませんか？

参考文献

1. K. Kajiwara, et al., *Biochimica et Biophysica Acta*, 955 (1988) 128-134.
2. A. Bouchoux, et al., *Biophysical Journal*, 99 (2010) 3754-3762.
3. B. Ingham, et al., *Soft Matter*, 12, (2016) 6937-6953.



高木 秀彰(たかぎ・ひであき)

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光実験施設 助教
 学生時代から放射光施設で小角X線散乱を使い、ポリマーのナノ構造体の構造制御の研究を行っていた。高エネルギー加速器研究機構でも同様の研究を続けたが、2019年に思いがけず酪農科学の研究者と知り合い、そこから食品科学の研究を始める。現在は放射光X線と中性子小角散乱を使って牛乳や乳製品の研究を行っている。ちなみにあまりチーズは好きではない。

干し芋の『しっとり感』を計測 ～中性子線を利用した食品のミクロ構造の解析～

日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター 中川 洋

1. はじめに

干し芋を口に含むと、しっとり、ねっとりとした舌にやさしくひろがるような食感が印象に残る。東海村やひたちなか市を中心に生産される干し芋は、冬の風物詩として長く愛され、地域文化とも深く結びついている。ところが近年、干し芋は機械乾燥による大量生産や通年供給が進み、さらに海外への輸出も始まっている。そのような状況の中で、かつては経験と勘で受け継がれてきた干し芋づくりの技術を科学的に理解し、品質を安定させる必要性が高まっている。

とくに、柔らかい食感と長期保存性を同時に満たすことは容易ではなく、そのバランスが品質設計の核心にある。この独特の食感は、単に水分が多いから生まれるわけではない。私たちの研究では、中性子散乱という物質科学の手法を用いることで、しっとり感の正体を分子レベルで読み解き、いったい何が食品の食感を決めているのかを調べている。本稿では、これまでの食品科学研究で得られた知見を踏まえながら、干し芋のミクロ構造と食感の関係、そして中性子が拓く新たな食品研究の姿について紹介する。

2. 干し芋の「しっとり感」の正体

-水の動きとガラス転移がつくるミクロな柔らかさ-

干し芋を食べ比べると、ほぼ同じ水分量の干し芋でも、紅はるかのようにねっとりとしたタイプと、玉豊のようにやや乾燥して歯切れのよいものまで、驚くほど多様な食感が存在する。一般に「水

分が多い食品は柔らかく、少ないと硬い」と考えられがちだが、食品の物性はそれほど単純ではない。この差を生み出しているのは水分量ではなく、食品内部の水の状態とデンプンがつくる非晶質（アモルファス）構造である。

2.1. 食品中の水は量ではなく状態が重要

食品に含まれる水は、一部が自由に動ける自由水、一部が食品成分と強く相互作用する結合水として語られることが多い（図1）。しかし、この分類は便宜的なものであり、実際には様々な束縛状態の水分子が存在する。この水の存在状態は食品の保存性に直接関係し、食品の湿度を表す水分活性と呼ばれる数値で食品の様々な品質を予測できることが分かっている。

水分量が同じ干し芋でも食感が異なるのは、水がどのように存在しているか、どの程度の自由度を持って揺らいでいるかが異なるためである。干し芋のねっとりタイプでは、水がデンプンや糖の非晶質マトリックスに適度に取り込まれ、ミクロに揺らぐ柔らかい構造をつくる。一方、歯切れの



図1. 干し芋の中の自由水と結合水



図2. 食品の水のゆらぎとガラス転移

よいタイプの干し芋では、水分量が同じであっても、水分子がより強く束縛され、デンプンの構造が硬く締まる。つまり、しっとり感の正体は、水分量ではなく、水の自由度と非晶質マトリックスの柔らかさに関係しそうである。

2.2. デンプンがつくるガラス状態とラバー状態

干し芋の主成分であるデンプンは、蒸し器による加熱によって糊化し、その後の乾燥工程で硬い非晶質状態へと変化する。この非晶質構造は水分や温度によって性質が大きく変わる。乾燥が進むと分子運動が凍結し、ガラス状態と呼ばれる硬く脆い構造をとる(図2)。一方、水分が増えると分子の動きが再び活性化し、ラバー状態と呼ばれる柔らかく弾力のある構造へと変化する。

また、冬場に干し芋をストーブのそばで軽く温めて柔らかくして食べたことのある経験をお持ちの方もいるだろう。これは、ガムを噛んでいるときに冷たい水を口に含むと急に硬くなるのと同じガラス転移と呼ばれる物理現象で、どちらも温度に応じて柔らかいラバー状態と硬いガラス状態を行き来する現象である。

3. 食品中の水の計測と食感の分子デザインへ

このように、食品の食感マイクロな分子構造が本質的に関与している。干し芋のデンプンは乾燥や貯蔵の過程で分子構造が変化し、時間の経過とともに部分的な再結晶化(老化)が進む。これは、パンが日を追うごとに硬く、ボソボソした食感へ変化していく現象としてもよく知られている。この老化は単純に乾燥するというだけではなく水の状態変化にもよるため、水がどの程度束縛され、どの時間スケールで揺らいでいるのかが関わってくる。食品中の水は、ナノ秒(1秒の10億分の1)という極めて短い時間スケールで揺らぎ、位置を

わずかに変え、周囲の分子とのネットワークを組み替えながら絶えず動き続けている。この運動性こそが、ガラス転移温度、保存性、そして私たちが口に感じる食感を左右するため、このような水の動態

を計測することが必要となる。しかし、従来の分光法や熱分析だけでは、どれだけ水が動いているかを直接捉えることは容易ではなかった。

そこで力を発揮するのが中性子散乱、とくに中性子準弾性散乱である(図3)。中性子は水素原子に対して非常に高い感度を持ち、食品を破壊せず深くまで透過できる。食品中の水分子が揺らいだり数オングストローム(1cmの1億分の1)だけ拡散したりすると、その運動に応じて散乱スペクトルがわずかに広がる。この広がりを解析することで、水分子がどれだけ自由に動けるのか、あるいはどの程度束縛されているのかを、ナノ秒という時間スケールで直接評価できる。これは、これまで自由水や結合水といったあいまいな概念で語られてきた水の状態を、動的な量として正確に扱えるようにする点で、食品科学に新たな視点をもたらす手法であると言える。しっとり感、サクサク感、モチモチ感といった感覚的な言葉の裏側に潜むマイクロな現象を明らかにし、それを逆手にとって食感をデザインすること。これこそが、これからの食品科学が目指す新しい方向性である。

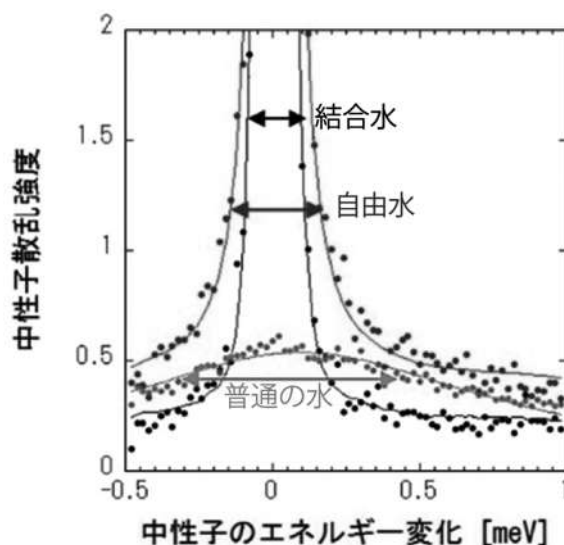


図3. 食品中の水の中性子準弾性散乱スペクトル(裏表紙にカラーで掲載)

4. 地域食品としての干し芋

～文化と科学の交差点～

干し芋の研究には、科学的な興味だけでなく、日本の地域産業を支える食品としての重要な側面もある。とくに茨城県は日本一の干し芋生産地であり、生産者・加工業者・流通関係者を含む広い産業基盤が形成されている。冬になると軒先に並ぶ干し芋や、特産品として贈られる黄金色の平干し芋は、地域の風景や生活文化を象徴する存在である。干し芋が「冬の季節感」や「季節の楽しみ」を象徴する食品として親しまれていることも知られており、食生活における季節文化の一部として深く根を下ろしている。こうした文化的価値を持つ食品に対して、必ずしも保存性を高めて通年で大量供給すれば良いというわけでもない。干し芋は、冬の冷気の中でゆっくり干し上げられるという季節性そのものが商品の物語を形づくっており、その時間感覚を失ってしまえば、消費者が抱いてきた「冬の味」という感覚的価値が損なわれるかもしれない。

このように考えると、生産者は季節の象徴としての干し芋の位置づけを保ちながら、どのように品質を安定化し、時代のニーズに合わせて発展させていくのかという難しい課題にも直面する。ここで科学は食文化を変えるのではなく、文化的価値を尊重しつつ品質設計を合理的に支えるための“客観的な物差し”を提供する役割を果たす。紅はるかや玉豊など品種ごとのデンプン構造や水和特性の違いを科学的に示せば、地域ごとの味わいや食感の個性を明確に説明し、ブランド化を進める際の有力な裏付けにもなるかもしれない。

干し芋の国際需要が高まり輸出が拡大するいま、科学の役割はさらに広がりつつある。このよ

うに見ていくと、干し芋は一見素朴な地域食品でありながら、実は文化と科学が交差する興味深い素材であることがわかる。地域食品としての干し芋は単なる昔ながらの食品ではなく、未来に向けて進化し続ける文化資源となりうる。干し芋サイエンスは、その文化と科学が出会う場として、これからも新しい価値を生み出し続けていくだろう。

5. 中性子が拓く食品研究の未来

干し芋のしっとり感というテーマを掘り下げるだけでも、食品がいかに奥深い科学の世界を内包しているかが見えてくる。中性子は食品研究の世界では比較的新しい分析手法だが、その潜在力は大きい。干し芋だけでなく、パンの老化、麺のコシ形成、ゼリーのゲル構造、代替肉における繊維構造の形成、冷凍食品の水結晶成長など、食品の品質変化を分子運動や構造変化という視点から読み解く道を開く。茨城県東海村にはJ-PARC加速器やJRR-3原子炉といった世界最先端の中性子源がある。このような施設を活用した食品のミクロ構造解析は、食品分子の研究を“経験的技術”から“分子構造に基づく設計科学”へと変革する鍵を握るであろう。しっとり感の仕組みを理解することで、地域食品としての干し芋の魅力を守りながら、さらにおいしく、さらに価値のある形へと発展させる道が開けていく。科学が食文化を支え、食品の未来をつくっていく、そんな時代が始まりつつあるのかもしれない。

参考資料

- [1] 渡辺万里、CROSS T&T、72、16 (2022) .
- [2] 干しいも事典、(一社) いも類振興会編集・発行。
- [3] 中川洋、明日の食品産業、448、23 (2018) .



中川 洋(なかがわ・ひろし)

博士(理学) 日本原子力研究開発機構・物質科学研究センター研究主幹
2008年より日本原子力研究開発機構・職員。途中、2011年4月-2012年3月ドイツ・ユーリッヒ中性子科学センターの在外研究員、2023年4月-2025年1月ミネソタ大学・食品科学栄養学部の在外研究員。食品の分子構造解析を専門とし、ミクロ構造とマクロ物性の関係性を解明する研究が中心テーマ。

中性子散乱による食品科学研究最前線

第31回 CROSSroads Workshop を開催

総合科学研究機構中性子科学センター 瀬戸 秀紀 岩瀬 裕希

1. はじめに

2025年のイグ・ノーベル賞の物理学賞に「パスタソースの物理学、とくにまずさの原因になる凝集を引き起こす相転移についての発見」が選ばれたことをご存知の方も多いと思います。イタリアの伝統的なパスタ料理「カチョ・エ・ペペ」の完璧な作り方を物理学的な視点から明らかにした、という内容で、調理のプロセスを分子レベルから解明しています。この研究のように調理を物理的、化学的に解析する研究を「分子ガストロノミー」と言いますが、勘と経験に頼らず美味しいものを作る方法を明らかにする、と言う意味で、重要な研究分野の一つだと言えるでしょう。

一方、原子や分子の並び方や動き方を調べることのできる中性子散乱は、水素原子などの軽元素を観るのに適しています。ほとんどの食品は有機物で、水素や炭素などの軽い元素からできています。また水や油を含んでいる、あるいは水や油などの液体の中に分散していることも多いことから、中性子散乱を使うことにより食品の物理的・化学的性質を分子レベルから解明することに貢献できるのではないかと考えられています。

そのような観点からの研究は国際的な広がりを見せ、2010年から「中性子と食品(Neutrons and Food)国際会議」が2,3年ごとに開催されてきて、2022年の第6回の国際会議は日本がホストとなって(残念ながらコロナ禍のためオンラインでしたが)100名を超える参加者がありました。それにより、国内における中性子散乱による食品科学研究も大きく広がってきています。

そこで9月8日～9日に「CROSSroads Workshop」を、「中性子散乱による食品科学最前線」というテーマで開催しました。会場はCROSS中性子科学センターが居を構える茨城県東海村の「AYA's LABORATORY 量子ビーム研究センター」で、50名が参加しました。

2. 講演の内容-様々な食品を中性子で見る

1日目は、主に分子集合体の構造を明らかにする実験手法である「中性子小角散乱」を用いた研究成果が発表されました。まず日本原子力研究開発機構(JAEA)の中部倫太郎博士が、食品を冷凍保存する時に問題となる氷結晶の成長を妨げる効果がある、トレハロースやグルコースなどの糖を加えた時の構造変化を調べた結果を紹介しました。この中で特に「スピンコントラスト変調法」と言われる新しい実験手法を用いることにより、糖が氷結晶の成長を阻害するメカニズムが明らかになりました。続いて日清オイリオグループの井阪大輔博士が、天ぷら油の中に混入している、と言われている水の存在を明らかにしようとした実験結果を紹介しました。また太陽化学の小林純也博士は食品用乳化剤の消化管内での構造についての研究を、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の高木秀彰助教は牛乳の主成分であるカゼインミセルの構造解析結果を発表しました。

休憩を挟んで1日目後半のセッションでは、最初に元太陽化学技術フェローの南部宏暢博士が、長年食品科学研究に取り組んできた経験から、食品産業における中性子散乱解析の意義について述べました。また東京大学物性研究所の眞弓皓一准



講演中の会場様子

教授は、ゼリーの主成分であるカラギーナンゲルの構造と物性の関係に関する研究結果を紹介するとともに、中性子小角散乱実験の新たな数理解析手法について説明しました。続いて北海道大学大学院工学研究院の大沼正人教授は、餅の加熱や冷却による構造変化の様子をX線小角散乱で調べた結果について紹介。最後に京都大学大学院農学研究科の小川剛伸助教が、試料の「透明化」と蛍光計測を組み合わせた手法と人工知能（AI）の解析により麺の内部のグルテンの3次元非均質構造を評価して、食感との関係を明らかにした、という結果を示しました。

2日目はデンプンに関する様々な観点からの研究発表がされました。最初に岐阜大学応用生物科学部の西津貴久教授が、生デンプンが水との混合によって軟らかくなる「糊化」と保存により硬くなる「老化」のメカニズムを解明するために、X線結晶構造解析や中性子小角散乱、フーリエ変換赤外分光などの実験手法を用いて多角的に研究した結果を示し、デンプンの構造変化と食感との関係について説明しました。続いてJAEAの平田芳信博士が、中性子準弾性散乱を用いて「老化」プロセスにおけるデンプン分子の運動状態の変化を調べたという結果を紹介しました。そして山形大学工学部の松葉豪教授が、デンプンの糊化プロセスをX線小角散乱と中性子小角散乱を用いて調べた結果を示しました。

2日目後半の最初の講演は広島大学大学院統合生命科学研究科のヴィレヌーヴ真澄美教授で、グ



参加者の集合写真

ルテンフリーの食品である「米粉パン」が膨らむメカニズムを調べた結果を紹介しました。続いて帝京平成大学健康メディカル学部の前田竜郎教授が、パンや麺類を加工する時に添加する食塩のグルテンネットワークに対する影響を、蛍光染色イメージングとX線小角散乱、中性子小角散乱を用いて調べた結果について話しました。そして最後にCROSSの岩瀬裕希が、J-PARCの中性子小角・広角散乱装置TAIKANの現状とCROSSにおける利用支援について紹介しました。

3. おわりに

2015年の国連総会で採択された「持続可能な開発目標」(SDGs)の2番目に「飢餓をゼロに」が挙げられているように、「飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する」ことは人類にとって最も重要な課題の一つです。そのような文脈で考えれば、食品科学は自然科学の中で最も重要な分野である、と言って良いのかも知れません。本研究会を通じて、様々な食品の様々な物性の解明に中性子散乱が役に立つということが、明らかになったと言えるのではないのでしょうか。今後の中性子散乱の食品科学への応用に、ますます期待が高まります。

最後に本研究会の開催にあたって、JAEAの中川洋博士、KEKの山田悟史准教授、CROSS研究推進部の大井みどり、五十嵐美穂、大内薫各氏の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

■ 2025年12月12日 筑波大学

ゲノム編集で「3高」作出に成功 高糖度・高GABA・高ビタミンCのトマト

<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/biology-environment/20251212141500.html>

トマトは世界で最も広く栽培される果菜類で、生食から加工用まで幅広く利用される一方、栄養価の高さや健康機能性が注目され、多様な品種改良が進められている。筑波大学生命環境系、三浦謙治教授らは、ゲノム編集技術を用いて複数の遺伝子を改変することで、高糖度・高GABA・高ビタミンCのトマトの開発に成功した。

今回作出に成功したトマト果実は、糖度が約2倍上昇し、GABA含量は約5倍、ビタミンC濃度も約1.5倍、これら3要素を同時に増加させたのが大きな特徴だ。

従来の育種や栽培法では、糖度の高いトマトは水分の供給を減らすなどの栽培管理が必要であり、ビタミンC含量は抗酸化ストレス応答や光環境の変化

により動的に変化するなどの制約があるなど、複数の品質特性を同時に向上させることは容易ではなかった。

近年、目的遺伝子だけを高精度に改変できるゲノム編集技術が普及し、元の品質の形質を維持しながら新たな形質を付与することが可能になり、高GABAトマトが作出できるようになった。GABA（ γ -アミノ酪酸）は神経伝達物質として働くアミノ酸で、血圧低下作用やリラックス効果が知られている機能性成分。植物では環境ストレス応答や代謝調節に関与している。

研究では、高GABA化に資することが知られているGAD3遺伝子と、ほかの植物ではその機能が明らかにされていないESK遺伝子を同時に改変することで高糖度で高GABAという果

実品質向上を試みた。ゲノム編集で遺伝子に変異が導入したトマトを栽培し果実を収穫し、その糖度、GABA含量を測定した。

このトマトの糖度（Brix値）は、野生型で4.3だったが、改変トマトでは7.9を示し、約2倍に上昇。またGABA含量は野生型に比べ改変トマトでは約5倍に増加していた。ESK遺伝子とGAD3遺伝子の改変により、これらの成分が同時に増加したことを示すものだ。一方で、トマト果実の重さ（サイズ）は野生型の半分近くまで減少しており、遺伝子改変トマトにおける導管形成の異常が原因と考えられるという。

今回の研究では、複数の品質特性の向上を実現した。しかし、果実重量の低下が見られたことから、高機能化と収量をどのように両立するかが今後の課題となった。収量低下の原因を明らかにできれば、さらなる品種改良につながると期待される。

若手研究者支援制度とノーベル賞 坂口志文博士の受賞に寄せて

政策研究大学院大学 客員研究員 永野 博

坂口志文博士のノーベル賞生理学・医学賞受賞は日本の科学技術政策上、一つのエポックメイキングな出来事であった。近年、ようやく若手研究者支援の重要性が認識されるようになってきたが、新技術事業団（現在の科学技術振興機構）の本格的な若手研究者支援として最初に登場したのが1991年に発足した「さきがけ研究21」だ。坂口先生はこの「さきがけ研究21」が発足した年に「細胞と情報」領域で初年度に採択された一期生である。

「さきがけ研究21」は若手研究者支援という観点からみて革新的なプログラムであった。「さきがけ研究21」では研究を主体的に行える若手（採用時で平均35歳程度）の個人に年間約1千万円の研究資金（給与も別途支給）を支援し、3年間の間に何か成果を出すということではなく、新たな科学技術の芽ができればそれでよい、10年くらいたった時点で、そういえばあの時の・・・というものがでてくればよいという考え方を基本としていた。「さきがけ」という名称はここから由来している。研究テーマについては、研究者がそれまでアンダーグラウンドで行っていた面白い研究も歓迎するとうたっていた。表面的な実績よりも、アイデアの良さや問題提起型のテーマを採択しようとしていた。ナンバーワンよりオンリーワンという発想に近い。

3つの研究領域と3名の領域総括

1991年に創設されたこのプログラムの研究分野は「細胞と情報」、「構造と機能物性」、「光と物質」というように「と」で結びつけられたどの学問領

域も包含する広い平原のようなものだった。新技術事業団ではこれを直行軸と称し、一つの物差しだけには縛られない、空間的広がりを持つ呼び名を研究領域につけ、対象となる専門分野が限りなく広がった。そのため、応募する研究者の専門が特定の分野に留まらず、一つの研究領域に物理や化学、生物や情報からの研究者が応募してくることになり、研究者が混在を図るきっかけとなった。例えば物性研究が専門の領域総括のグループに企業でポストドクをしていた生物の研究者が選考され、その後、著名大学の教授になったりもしている。

「さきがけ研究21」では一つの領域で3年間、毎年10人程度の若手研究者が採用され、30人ほどのグループができた。採用された研究者は相互に知らない人ばかりであるし、専門用語が通じないという事態が生じた。それでも年に二回の二泊三日の合宿を重ねていくと、徐々に専門用語に対する相互の理解、人間としての関係が深まり、結果的にこれがその後の研究人生に大きな影響を与えたと聞いている。

初年度の3つの領域を担当することになった3名の領域総括には高良和武先生（構造と機能物性）、本多健一先生（光と物質）、大澤文夫先生（細胞と情報）という3人の名誉教授が任命されていたが、どの方も同様に若手研究者のメンターとしては素晴らしい方々であった。坂口先生の属した「細胞と情報」領域の領域総括であった大澤先生は、若い研究者に自分で考えさせて自由に研究をさせることから名古屋大学での研究室は大澤牧場といわれていた。メンターとしての能力が抜群で

あり、その後、ネイチャー誌からメンター賞を贈られている。牧場からは柳田敏雄先生など日本を代表する研究者が育った。3年間の終了時には報告会が行われたが、大澤先生の報告会の趣旨は、人の研究の面白さを受け取り、それを評価し理解することがいつか自分の研究に役立つというものであり、3年間の業績を論文や学会発表の数で評価をするという気配はまったくなかった。そういう雰囲気の中から坂口先生のノーベル賞受賞が生まれたことになる。

坂口先生は米国からの帰国時、日本での勤務先を見つけることができなかつたので、新技術事業団が直接雇用して給与も支払う「さきがけ専任研究者」となった。1992年から3年間、さきがけ研究で、免疫制御機構の解明を目指してT細胞レセプターの遺伝子操作による自己免疫疾患現象の誘導と阻止機構の解析を行い、その結果を1995年に免疫学の専門誌に論文として発表された。この論文で示された「制御性T細胞が免疫系のブレーキとして自己免疫反応を抑える役割を果たす」という発見を、ノーベル委員会は制御性T細胞研究のルネサンスと位置づけている。坂口先生が自由に研究できた3年間で今回のノーベル賞受賞につながったといえる。

進展に合わせた予算の融通

当時の新技術事業団では、研究領域ごとに専任の職員（技術参事、事務参事、事務員）がいる事務所をおき、領域ごとの事業の管理と予算の執行を任せた。30人の研究者全員の予算執行が事務所に任せられたことでよかったことは、各研究者が単年度ごとに予算を使い切る必要がなくなり、研究の進展にあわせて予算を使うことができた。研究の進展は各研究者によって異なり、事前にわからないので、研究の進んだ研究者が予定より多くの予算が必要になったら、まだ研究の進んでいない人の予算を使うことができた。研究領域全体として年度ごとの予算を使用すればよかったので、その中で予算を融通することによって、年度末に予算執行のことで各研究者が苦勞することなく、全員がスムーズに研究をすすめることができた。

もう一つ特徴的であったのは、研究者に対して

給与が支払われたことである。欧米では研究費に一定の給与が入っているが、日本では研究者の仕事が増えたとしても給与は勤務先から支払われるもの以外は受け取らないことになっている。「さきがけ研究21」では勤務先のない人には新技術事業団の所属としてフルに給与を支払ったばかりでなく、大学等の研究機関で正規の職員として勤務している研究者に対しても一定の金額を支給した。今のワークライフバランスの考え方とはフィットしないかもしれないが、さきがけの研究者が研究に夢中になるあまり週末に仕事をして、ご家族が快く家から送り出してくれたという話もあったようだ。

また「さきがけ研究21」では、日本国内の研究機関や企業に勤務していない人でも応募できたことも重要であった。例えば、海外で研究をしていて任期切れの近づいた人でも応募できたということは帰国にあたっての研究の継続性を確保するうえで重要であった。坂口先生も米国で研究員をされていたので、「さきがけ研究21」がなければ研究の空白期間が生じたかもしれない。

本格的な若手研究者支援のプログラムともいえる「さきがけ研究21」の発足から三十数年がたつて、その一期生がノーベル賞を受賞されたことは感慨深いと同時に、画期的な、イノベーティブな成果を生み出し、世界で評価されるためには気の長くなるほどの時間と研究者を支援する仕組みが必要なことがわかる。坂口先生の場合は、「さきがけ研究21」の後も、科学技術振興機構や科研費、関係省庁の研究費、さらには最近では出資型新事業創出支援プログラム（SUCCESS）により起業支援も行われている。断片的に数年間を支援するのではなく、研究者の自律性を前提とした政府、ファンディング機関、企業による継続的な支援が有効であることは明らかだ。

望ましいファンディングシステム

「さきがけ研究21」で始まった若手研究者支援制度は世界的に見ても早期に始まったもので、他に例を見ないユニークな制度であった。今は若手研究者支援が充実している欧州でも類似のプログラムが出てきたのは実はかなり遅い。例えば、ド

イツで同様な趣旨のエミー・ネーター・プログラムが始まったのは1999年であるし、このエミー・ネーター・プログラムを土台として欧州連合が欧州研究会議(ERC)を設けて若手独立研究者用助成金などを開始したのは2007年である。特にERCのプログラムはその後、規模も拡大し、今では欧州で一番、話題となる研究資金に発展している。そう考えると「さきがけ研究21」の先見性がわかる。このような「さきがけ研究21」であったが、21世紀に入り科学技術庁と文部科学省が統合されると、科学技術振興機構と日本学術振興会の業務調整により「さきがけ研究21」を推進していた科学技術振興機構は政府の定めた戦略目標に従って研究支援を実施する機関となった。そのため、さきがけ研究は名前こそ残ったもののトップダウンで行うファンディングの一つとして位置づけられ、内容的に性格は変わった(名称は21が削除され「さきがけ研究」となった)。なお、日本学術振興会では一件当たりの規模は少ないものの2002年度より科研費の中に若手研究が設けられ、その後も規模を拡大している。

令和元年度(2019年度)に「さきがけ研究21」に似た支援事業として科学技術振興機構に創発的研究支援事業が創設された。事業の概要は、「挑戦的・融合的な研究構想に、リスクを恐れずに挑戦し続ける独立前後の研究者を対象に、最長10年間の安定した研究資金と、研究に専念できる環境を一体的に提供する。」とされている。



永野 博 (ながの・ひろし)

慶應義塾大学で工学部と法学部を卒業。中途1年間、欧州でギャップイヤー。1973年に科学技術庁に入り、西ドイツの日本大使館(在ボン)で科学技術・原子力を担当。その後、鹿島建設建築技術本部次長、文部科学省国際統括官、同省科学技術政策研究所長、科学技術振興機構理事、政策研究大学院大学教授。その間、2007～09年までイーター国際核融合エネルギー機構財務監査委員会議長、2011～16年まで経済協力開発機構(OECD)グローバルサイエンスフォーラム議長を務めた。

現在、米国科学振興協会(AAAS)フェロー、日本科学振興協会(JAAS)名誉フェロー、(公社)日本工学アカデミー顧問・政策共創推進委員会委員長、(公社)日本ユネスコ協会

連盟副会長、(公財)日独協会評議員など。

著書:『世界が競う次世代リーダーの養成』(近代科学社、2013年)、『ドイツに学ぶ科学技術政策』(近代科学社、2016年)

分野は14に分かれ、それぞれに責任者の創発PO(→CROSSワード)が任命される。各分野では3年間をかけて40人程度の研究者を採択する。全分野での年間の採択件数は年220人～250人なのでかなり多い。研究資金は年平均700万円であり、研究費以外にも大学に対しては創発研究者の環境を整備するための資金が提供される。採択は、情報等、機械・電気工学等という研究領域ごとになっており、「さきがけ研究21」のように領域内で自然に学際交流ができるようにはなっていないのは工夫を要するところであるが、全体の発想、規模については望ましい形になっている。

立派な研究を地平線に出る頃から見通し、継続的な支援を続けることがノーベル賞にまでつながる大きな成果として実を結ぶことは坂口先生の事例で明らかになった。近年、若手研究者の支援が質、量とも拡充されていることは喜ばしい。坂口先生は望ましいファンディングシステムについて、研究者にとっては複数のキャリアパス(米国の例でいうと著名な民間組織の資金の利用など)の存在が必要で、それにより研究者の流動性が高くなり、研究者が直面するリスクを吸収できることになると指摘されていた。

研究支援側としては、研究者の生涯をかけたキャリアにどう政策側が伴走するかという視点を忘れてはならない。研究者を支援する政府、資金提供機関は長期的な観点にたって自信を持って政策を立案していく必要がある。

PO はプログラムオフィサーの略。創発 PO は、破壊的イノベーションにつながるシーズの創出に向け、既存の枠組みにとらわれない個人研究者の自由な発想に基づく挑戦的な研究を、長期的な視点で統括する。個人研究者のメンタリングも行う。

CROSS ロード

J-PARC の中性子回折装置「千手」、ノーベル化学賞の「金属有機構造体」研究に活用

京都大学の北川進特別教授が 2025 年ノーベル化学賞を受賞された「金属有機構造体」(Metal-Organic-Framework、MOF) または配位高分子 (Coordination Polymer、CP) と呼ばれる材料は、金属イオンを有機分子でつなげた規則的な構造を持っている。規則構造の内部には大きな空隙があり、ほかの分子・原子を取り込むことができることから、ガス吸着や触媒などへの応用が期待されている。

CROSS が利用支援を行う J-PARC MLF の 7 つの中性子共用ビームライン (BL) の 1 つである BL18 千手 (特殊環境微小単結晶中性子構造解析装置) も MOF の評価に活用された。その実験結果は北川進特別教授らの論文に掲載されている (アメリカ化学会「Journal of the American

Chemical Society」、2016 年 DOI : <https://doi.org/10.1021/jacs.6b03625>)。

この論文で扱われている試料は、垂鉛イオンをリン酸イオンと 1,2,4- トリアゾールという有機分子でつないだもの。高いプロトン伝導性と非多孔性を持っており、燃料電池の電解質として応用できる。研究グループは、まず千手で単結晶中性子回折測定を行い、プロトンと 1 個だけ結合したリン酸のみが導電性に関与していることを確認した。そして他の様々な分析結果から、構造体の欠陥 (規則構造が途切れている場所) が動くことによってプロトンが動きやすくなったり、水分子が出入りする空間を作ったりしていると結論付けた。

詳しくは CROSS ホームページをご覧ください。
<https://neutron.cross.or.jp/ja/news/topics/pt20251010-49882.html>

キントレが材料を強くする

き裂“発生”の抑制で高強度鋼の疲労限度を2倍化

物質・材料研究機構 構造材料研究センター 岡田 和歩

1. はじめに

疲労破壊とは、繰り返し負荷が加わることで材料にき裂が発生・進展して破壊が生じる現象あり、構造物破壊事故原因の約8割を占めます。日本でも、日本航空123便墜落事故（1985年）や大阪エクスポートのジェットコースター脱線事故（2007年）など、疲労破壊を原因とした重大事故

が実際に起こっており、安心・安全な社会の実現のためには疲労破壊しにくい材料開発が重要な課題となっています。

材料を一度で引きちぎることができる負荷を引張強度といいます。引張強度よりも小さい負荷になるほど、材料の破断に必要な繰り返し回数が増加し、一定以下の負荷ではいくら繰り返しても破断しなくなります。一般に、1千万回以上の負荷

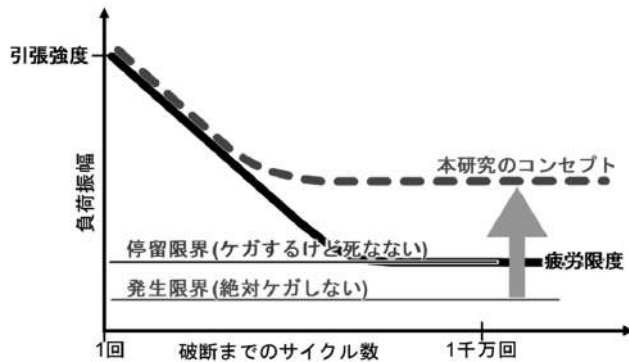


図1 疲労寿命線図の模式図

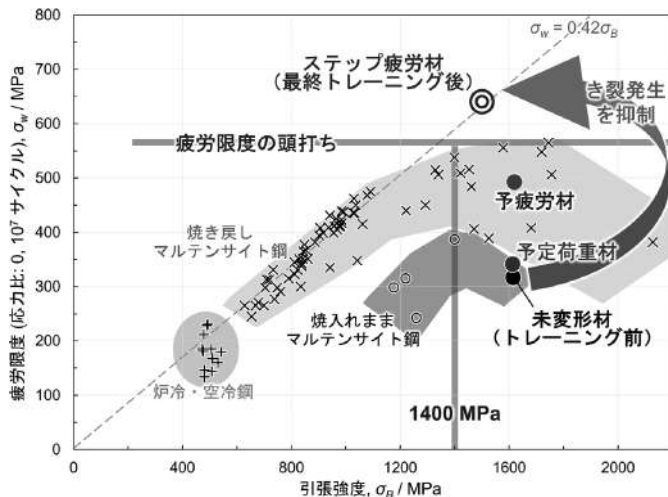


図2 疲労限度の模式図

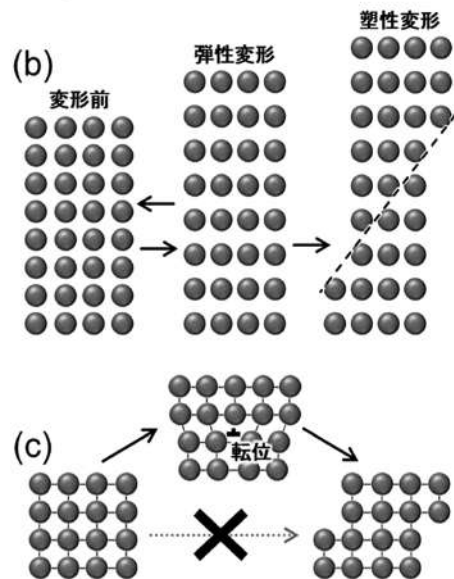
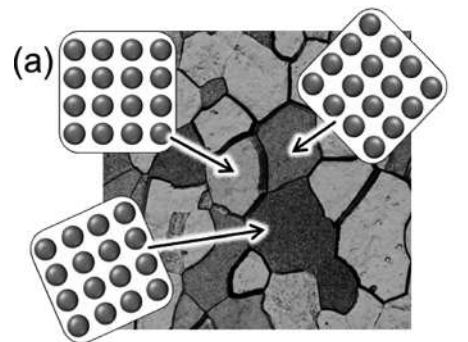


図3 金属の結晶構造と変形の模式図

を繰り返しても破断しない負荷の上限を疲労限度と呼び、自動車のサスペンション部品や車軸などの振動・衝撃に曝される構造材料を長期間安全に使用するために最も重要な力学特性の一つです(図1)。

近年、燃費向上を目的とした輸送機器の軽量化のため、高い引張強度を有する鉄鋼材料の実装が求められています。そこで、高い引張強度と疲労限度の両立が必要となりますが、引張強度と疲労限度の比例関係が引張強度1400 MPa(鉛筆の太さで中型トラックを吊り上げられる程度の硬さ)程度で頭打ちとなる課題がありました(図2)。本稿では、金属にとっての“キントレ”である「予疲労トレーニング」を開発し、高強度鋼の疲労限度を2倍化することで従来の頭打ちを打破した著者らの最近の研究成果 [1] を紹介します。

2. 金属の変形と疲労

予疲労トレーニングの前に、金属の変形と疲労破壊の基本的メカニズムを概説します。金属は原子が規則的に配列した結晶構造を有しますが、大きな金属片全体が同じ原子配列を有するわけではなく、配列の異なる領域(結晶粒)が無数に集合しています(図3(a))。そして、この結晶粒の境界を結晶粒界と呼びます。

金属に力を加えると、まず、力を抜くと元に戻る弾性変形を生じます(図3(b))。結晶構造に対して力を加える向きが変わると、同じ大きさの力であっても弾性変形の量が異なります。力の大きさと弾性変形量の比をヤング率といい、方向によってヤング率が異なることが、後述する高強度鋼の疲労き裂発生メカニズムにおいて重要な役割を担います。

弾性変形だけでは耐えられないほど大きな力を加えると、特定の原子面がすべることで、力を抜いても元に戻らない塑性変形を生じます。原子面のすべりを結晶粒全体でいっきに生じさせるには非常に大きな力が必要となるため、金属はより効率よく塑性変形します。図3(c)のように、転位という結晶構造の局所的歪みを生じ、転位が移動することで結晶面のすべりを伝播させるのです。大きく変形する場合、多数の転位が発生・移動して

互いに絡まり合って動きにくくなるため、転位の運動にさらに大きな力が必要となります。このように、一度塑性変形した金属をさらに塑性変形するためにより大きな力を必要とする現象を加工硬化といいます。

疲労破壊では、繰り返し変形によって材料表面の凹凸などを生じ、そこからき裂が発生・進展して最終破断に至ります(図4)。表面凹凸は塑性変形により生じるため、材料が完全な弾性変形をしている限り疲労破壊は起こりません。逆に言えば、巨視的には材料に大きな塑性変形が生じていなくとも、繰り返し変形によって特定の弱点に局所的な塑性変形が蓄積することで、き裂が発生・進展する現象こそが疲労破壊です。

一般に、疲労限度はき裂発生限界とき裂停留限界のうち高い方に対応します(図1)。き裂発生限界とは、1千万回以上繰り返しても材料にき裂が発生しない負荷の上限です。き裂停留限界とは、疲労変形中にき裂が発生するものの、材料内部でき裂が停留して破断には至らない負荷の上限です。比較的低強度な従来の鉄鋼材料では、停留限界が発生限界より高く、停留限界と疲労限度が対応するとされてきました。き裂停留は材料内部のいたるところで生じ得るため、停留限界は、材料の硬さや引張強度と良い相関があります。そこで、従来は停留限界に関する研究が多く行われてきました。同じ外力であっても、き裂が長いほど先端に集中する力は大きくなるので、き裂が短いうちに停留するほど疲労限度にとって有利です。図5は、低強度域の引張強度と疲労限度の比例関係(図2)を実現するために必要なき裂の停留サイズ上限を示しています。引張強度が上昇するほど小さいき裂での停留が必要となります。特に1400 MPa以上では1 μ m(1 mmの千分の一)以

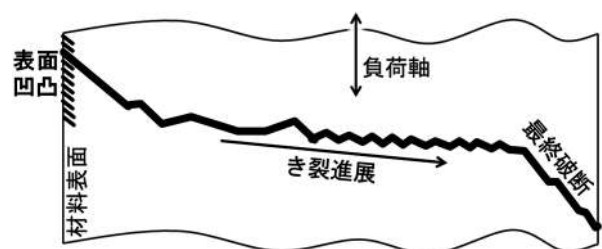


図4 金属疲労の模式図

下でのき裂停留が必要となりますが、これは結晶粒よりも微小なき裂の停留を意味しており非常に困難です。そこで、疲労限度の頭打ちを打破するには、き裂発生限界の向上こそがカギなのではないかという考えに至りました。

3. 予疲労トレーニング

材料を人間に例えるならば、き裂はケガであり、破断するという事は死んでしまうということです。したがって、き裂発生限界は「絶対ケガをしない」負荷の上限であり、停留限界は「ケガはするけど死にはしない」負荷の上限であるとも言えるでしょう。生命ではない金属に倫理適用する必要はありませんから、ケガ上等、と使い倒せるのは利点ではありますが、自分の身体であればそのような使い方をする人は少ないでしょう。例えば、替えの利かない永久歯の治療では、虫歯の抜歯が中心であった時代から、削って詰める時代、そして虫歯予防（発生させない）の時代へと進歩してきました。絶対に失いたくないものを長持ちさせるには、虫歯のような欠陥をそもそも発生させないことが一番なのだという考え方は自然です。しかし、金属材料に同様の考え方を適用し、き裂発生限界の向上に挑戦する研究は主流ではありません

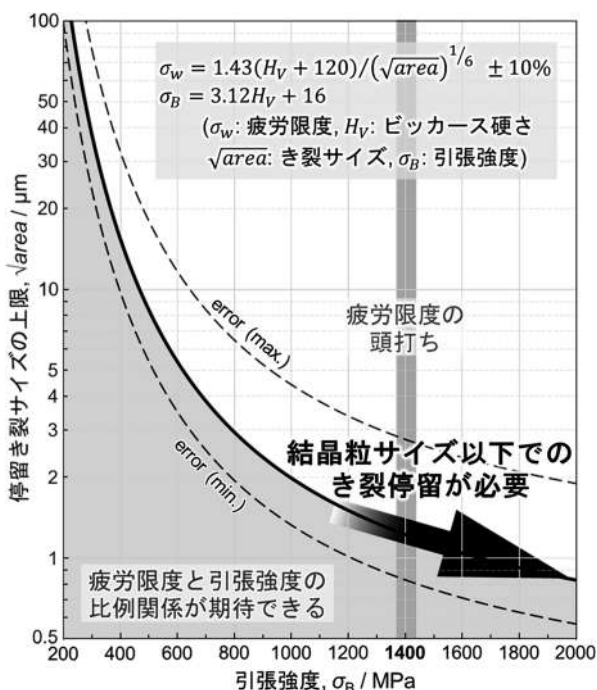


図5 疲労限度と引張強度の比例関係の維持に必要な疲労き裂の停留サイズ上限

んでした。そこで私は、金属材料のケガ予防研究を進展させたいと考えるようになりました。

さて、人間がより高い負荷でもケガしないよう対策するには何が有効か。それはまさしく筋トレです！では、金属材料にも筋トレに相当する鍛錬“金トレ”を適用しようではありませんか。人間の筋トレでも、初心者がいきなり重すぎるダンベルを扱うとケガをしてしまいます。ぎりぎりケガをしない重量で筋トレを行い、その後に適切に回復させることで、筋肉は成長します。そこで、“金トレ”に同様の考えを適用するならば、き裂発生限界以下で疲労変形を行い、疲労変形に由来する損傷を除去すれば、疲労限度が向上するのではないかという考えに至りました。このき裂が発生しない条件で行う疲労変形こそが、著者らの開発した予疲労トレーニングです。従来、疲労変形は材料に損傷を与えるものだとされており、これを逆に材料強化に活用するというアイデアは全く新しい考え方です。

4. 高強度鋼の疲労限度2倍化

本研究では、最も代表的な高強度鋼であるマルテンサイト鋼に予疲労トレーニングを適用しました。鉄鋼のマルテンサイトは、鉄-炭素合金を1,000℃程度の高温から急冷する（焼き入れる）ことで形成される非常に硬い組織です。しかし、焼き入れ直後の“焼き入れまま”状態での疲労限度が低いため、“焼き戻し”熱処理（焼き入れ後に数百℃まで再加熱して粘り強さを高める）により強度を（場合によっては半分以下まで）低下させた状態で一般的に用いられてきました（図1）。もし、マルテンサイト鋼の高強度を犠牲にせず、なおかつ疲労限度を強化することができれば、超高強度材料の社会実装化へ大きく貢献します。

図6に、本研究で用いた一般的な低炭素マルテンサイト鋼（炭素：0.2 wt.%）^{*}の疲労寿命線図を示します。焼き入れままの試料（未変形材）に対して、予疲労トレーニングを行った予疲労材と、予疲労材と同一の最大応力・時間にて繰り返してはならず一定荷重の負荷を行った予定荷重材を作製しました。これらの試料を再研磨して表面凹凸を除去した後、疲労試験を行ったところ、予疲労材

^{*} wt.%は重量%の略。この試料では、鋼1kg中に炭素が2g含まれている。

の疲労限度が顕著に向上し、繰り返し変形が疲労限度向上に有効であることが示されました。さらに、1千万サイクル後に未破断であった予疲労材に対し、再研磨と段階的に負荷を上昇させた予疲労トレーニングを繰り返し継続したところ、負荷を1300 MPaまで引き上げても破断しませんでした（ステップ疲労材）。これは、ステップ疲労材の疲労限度が従来の頭打ちを打破したことを意味します（図1）。

上記4試料の引張強度は1500～1600 MPaで大きく変化しておらず、予疲労トレーニングは強度を犠牲にしない強化法となり得ます。また、1千万サイクル後に未破断であったいずれの試料にも表面き裂が観察されず、疲労限度はき裂発生限界と対応していました。すなわち、予疲労トレーニングによってき裂発生限界が向上したことで、対応する疲労限度が2倍化したのです。これは、従来材料を壊れやすくするとされてきた疲労変形が、実は疲労き裂発生の抑制に極めて有効であることを実証した世界初の成果です。

予疲労トレーニングによるき裂発生抑制メカニズムについては、以下のことがわかりました（図7）。まず、未変形材では、荷重方向へのヤング率の差（弾性ミスフィット）が大きい結晶粒界に特異応力場が生じます。隣接する結晶粒の原子配

列が異なれば、荷重方位へのヤング率が異なります。その結果、同じ外力であっても弾性変形量に差が生じますが、結晶粒界がくっついているという境界条件を維持するために粒界付近に特異な歪みが発生します。この特異応力場が粒界近傍の局所塑性変形を促進し、表面凹凸を形成します。凹凸の幾何学形状が表面近傍にさらなる局所的な力の集中を招き、塑性変形を加速することでき裂発生に至ります。

一方、ステップ疲労材では、弾性ミスフィットが大きい結晶粒界、つまり潜在的き裂発生サイトの近傍は予疲労トレーニングでの凹凸形成時に選択的に加工硬化されています。さらに、トレーニング中に形成された表面凹凸がき裂に至る前に再研磨で除去されているので、幾何学形状に起因した力の集中が生じません。その結果、「トレーニング+再研磨」後の疲労試験中に、潜在サイトが塑性変形することができず凹凸形成とき裂発生が抑制されます。すなわち、予疲労トレーニングが“キントレ”に相当し、その後の再研磨が“回復”に相当するのです。

5. おわりに

予疲労トレーニングは、引張強度をほとんど低下させることなく疲労限度を向上させられるた

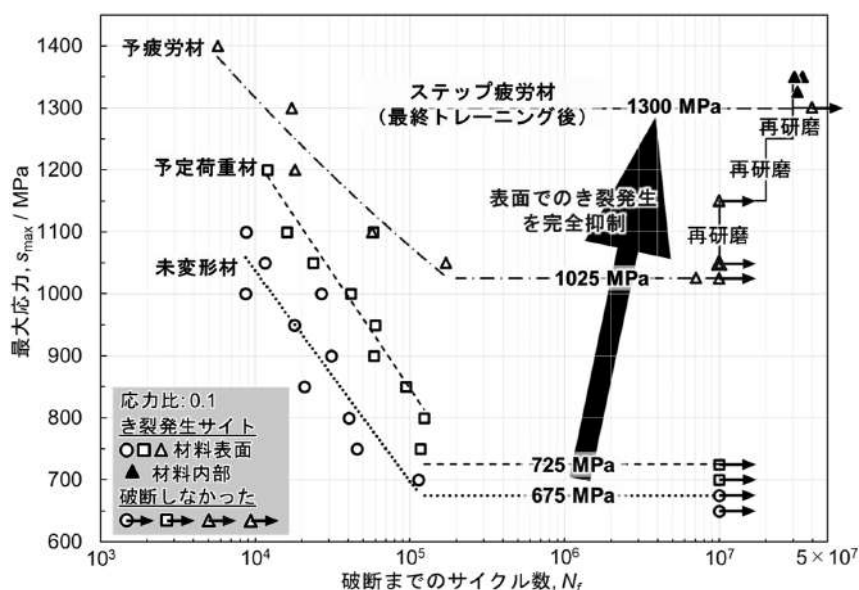


図6 本研究の疲労寿命線図

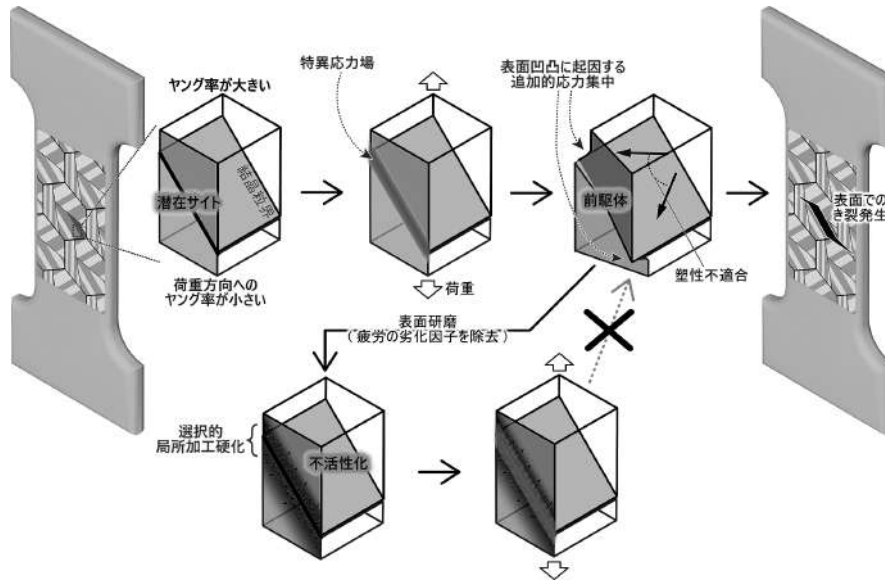


図7 疲労き裂発生および発生抑制メカニズムの模式図
(裏表紙にカラー図を掲載)

め、従来の焼き戻し熱処理とは全く異なるアプローチの材料強化手法として一般的な鋼材への応用が期待できます。

さらに今回、高強度鋼の疲労限度向上において、これまで注目されてきたき裂の「停留」ではなく、き裂を「発生」させないことが重要であると実証しました。今後、この「金属材料のケガ予防研究」を進展させ、鉄鋼材料を含めた様々な材料の破壊現象に展開することで、超高強度材料の社会実装へ貢献する新たな学理を構築していきたいと考えています。

謝辞

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業ACT-X「トランススケールな理解で切り拓く革新的マテリアル」領域(課題番号:JPMJAX23D5)の一環として行われました。

参考文献

[1] K. Okada et al., Advanced Science, 12 (2025), e04165.



岡田 和歩 (おかだ・かずほ)

国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS)構造材料研究センター鉄鋼材料グループ主任研究員。1994年生。広島県東広島市出身。2022年3月、京都大学大学院工学研究科材料工学専攻修了(博士(工学))。同年4月、物質・材料研究機構に着任。研究員を経て、2025年4月より現職。水素脆化や疲労破壊などを中心に、鉄鋼材料の変形・破壊メカニズム解明および破壊抑制に関する研究に従事。

「ことしは筑波山だ！」で2講演

CROSS2025 市民公開講座に約 150 人



井坂敦実講師



高橋雅紀講師

CROSS2025総合科学市民公開講座は10月29日、つくば市役所201室で開いた。「ことしは筑波山だ！」をテーマに2つの講演があり、約150人が聴講した。過去最高の参加者数となった。

つくば市科学技術振興課、高橋課長補佐が市長挨拶を代読し、「公開講座の開催、そこに参加する熱意が科学技術の街つくば市を支える大きな力となっている」と述べた。

「山国誕生の謎-関東平野の沈降と筑波山の隆起」

講師の高橋雅紀氏は産総研地質調査所を退職後、現在も地質学者として執筆活動を進めている。講演では、研究活動の成果の1つ、「日本海溝移動説」が紹介された。フィリピン海プレートが動くことによって日本海溝が移動、地殻を東西に圧縮させ、日本列島を隆起させている。日本が山国になったのは、この東西圧縮によるものだ。

講演の中で、配布された地殻変動模型を参加者それぞれが組み立て、日本列島近海のプレートの動きについて理解を深めた。

筑波山の成立過程はとても複雑だ。約6000万年前、この地域にマグマが上昇し、ゆっくり冷えて花崗岩による山体を形成した。大きく傾きながら隆起し、隆起した部分が山になり、浸食された

土砂が海を埋めて現在のつくばの地ができた。

山国誕生の解説を挟んで、科学とは何か、科学者は何を成すべきか、時に漫画の一節も交えて親しみやすく語った。

質疑応答では筑波山近隣の地層についてなどの質問があった。講演後に講師を呼び止めて問い合わせする参加者もあった。

「万葉集と筑波山」

講師の井坂敦実氏は筑波山ろくに暮らす地域の郷土史家で、地域に根差した活動を行っている。

万葉集に収められた4516首のうち、「筑波山」の歌は25首で、山を詠んだ歌としては一番多い。このうち、都人が詠んだ歌が11首、在地の人々の歌が14首である。常陸の国の東歌は12首あり、11首が筑波山を詠んでいる。筑波山が人々に愛されてきたことがわかる。講演では、その中から数首が紹介され、東国の人々のうた心が読み解かれた。

万葉集に歌われた筑波山と言え^{かがい}ば嬬歌に触れないわけにはいかない。これは「昔からこの山を領有している男女2神が許している行事」で、田の神を迎えるお祭と密接に関連している。万葉集の歌から古代の神事を知ることができる。

講演中はノートを広げてメモをとる参加者も散見された。質疑の時間では、筑波山の神がイザナギ・イザナミと言われている理由など、さらに踏み込んだ議論を聞くことができた。

(水沢多鶴子)



会場の様子

七十七歳 失明の危機

松崎 健一郎

硝子体への注射うたれて三月経ち遠くが白くかすみてきたり

新聞はいちばん大きな見出ししか見えなくなりぬやがてつひには

本棚の本ながむればふたたびは読むかなはざるモノとしてあり

テレビもまた見えざるゆゑに眼を閉ちて昭和歌謡を聴いてなどゐる

信号の色さへぼおとしか見えぬ道渡らむもたよりなく身は

本読むも論書くこともかなはぬかわが半生を支へしものを

目の見えぬ日々のいくとせ思ふとき閉ざされにけり暗くところは

手術すれば戻る視力か問うたれば失明のリスクありと医師言ふ

高校の友の二人がそれぞれに言ひし眼科医思ひ出したり

遠い町の眼科医なれど診察をうければ治るとすぐに言ひたる

手術すれば本が読めるやうになる医師のことばはすがりつく綱

失明の海に沈まむとすときに投げかけられしすがりつく綱

目に二本柱を立ててレンズをば縫い着けるといふわれの手術は

三十分近くかかりし目の手術難度の高い手術と聞きぬ

この手術うちの先生くらいしかできぬと強く看護師言ひぬ

綱とともに引き上げられぬ失明の海よりわれは引き上げられぬ

からうじて失明の海逃れ出て文字の読み書きなしてゐる今

網膜色素変性症にて視野狭きは手術をしても治らぬ病

ボール紙の筒から外を見るやうな視野にてであると医師は言ひしを

眼のレンズいかほどもつか妻が問へば十年もつと答へ返りぬ

わがいのち十年もつことあるまじとひとまづ胸をなでて聞きたり

道の先の奥までものがまた見えてこころの空も霞消えたり

(まつざき・けんいちろう)

1947年茨城県生まれ。水戸市在住。

村民の記憶に残る村発足 70 周年記念を目指して ～史上最弱メンバー!?によるドタバタ奔走記録～

東海村役場政策推進課 村発足 70 周年記念事業担当 鈴木 学

このたびはCROSS T&Tに記事を掲載させていただきます。

東海村のファンが1人でも増えることを期待し、東海村発足70周年記念事業担当者の思いや、これまでの記録についてご紹介させていただきます。

青天の霹靂

令和6年3月某日、私の人生でもトップ3には入るであろう、予想外の出来事が起った。

異動 政策推進課 鈴木 学

2度、3度、目の前のパソコンの画面を見直しても、文字列がズレているのではないかと指を平行に移動させながら人事異動の内示を確認しても、その事実は変わることなく、政策推進課の鈴木学が誕生することとなった。

雷が落ちてデータが書き換わったりしないかな…と現実逃避してみたが、パソコンの画面はいつもの明るさを保っていた。

自己紹介

民間の保育園に3年務め、その後東海村の職員となり、保育所に4年、幼稚園に9年、俗にいう保育士という仕事をして16年。保育業界では中堅に当たり、後輩育成にも携わるような年齢に差し掛かったころ、教育委員会への異動が決まり、初めて東海村役場（庁舎内）勤務となった。教育委員会での業務は、主に若手保育者の育成や、保育現場と教育（小学校）をいい感じに接続するためにはどうすべきかを考える幼小接続業務といったようなものだった。教育委員会では慣れないデ



図1 幼稚園で紙芝居を読む様子

スクワークに苦戦しながらも、様々な幼児教育施設や小中学校に訪問する機会があり、そこでたくさんの方のことを学んだり、たくさんの方とつながることができたりと世界が広がった。

担当は村発足70周年記念事業

幼児教育の世界でしか生きてこなかった私は、正直、政策推進課が普段どのような業務をしている部署なのかもよく分かっていなかった。担当する業務は【村発足70周年記念事業】、そう告げられた。最初は混乱したが、（まあ誰かに教えてもらいながらやるしかないか。置かれた場所で咲きなさい、だな）と、ベストセラーのタイトルを座右の銘の1つとしている私は、すぐに気持ちを切り替えて教育委員会の残務を行っていた。

史上最弱メンバー!?

令和6年4月1日、政策推進課のメンバーの一員となった私。先輩職員に教えてもらいながら進めていけばいいかという楽観的な考えは一瞬にして葬り去られる。

参考にしようと考えていた、前回の60周年記念事業の情報がまったくなかったのだ。(なぜ全然残っていないんだ!?) 話によると、当時は東日本大震災後ということもあり、住民の平穏な日常生活の復旧に尽力していたため、記念式典などを行っていなかったとのこと。(この参考資料がないという事実によって後々まで苦労することになる)

70周年記念事業の担当は役所業務知識ゼロの保育士の私。会計年度任用職員が1人。記念誌をメインで作成する生涯学習課(庁舎外)の学芸員職員が2人。合計4人。

知識もない、経験もない、参考データもない…こうして、おそらく全国の自治体でも類を見ないであろう史上最弱のメンバーによる周年記念事業が始まった。置かれた場所は想像以上に花を咲かせるのが難しい場所であった。



図2 全員初心者、不安な船出

発想の転換、史上最弱メンバーから史上最強メンバーへ

一体私たちの強みは何なのだろうか?知識も経験もない私たちだが、発想の逆転をすれば知識がない分、“柔軟な発想”ができる。また、それぞれに“教育現場とのつながり”がある。(私たちの強みを生かした、今までにない周年記念事業をしていこう!)というポジティブな考え方は、(そうだ、きっとそういうことを期待されてのこのメンバーなんだな!)と飛躍するまでには一瞬だった。

史上最弱メンバーはこうして私の中で史上最強のメンバーへと脳内変換された。



図3 1回目の打ち合わせの様子。良い意味で固定概念もない

記念のロゴマークを作ります!

オファーは子どもたちへ

東海村発足70周年記念のシンボルとなるような記念ロゴマークを作りたい!ほぼすべての自治体で作成しているといっても過言ではないロゴマーク。しかしその作り方は様々であった。しかし、プロのイラストレーターに依頼して作ってもらうパターン、全国的にプロアマ問わず公募するパターン、候補のロゴマークを複数提示し、住民アンケート投票で決定するパターンなどなど。じゃあ東海村のロゴマークはどう作るか?みんなに愛され…親しみをもってもらえ…それでいて話題性もあったら最高なんだけど…。そうだ!これからの未来を担っていく子どもたちにお願いしよう!というわけで、東海村の記念ロゴマークは、村内に住む小中学生から募集することにした。

さっそく自分たちの強みを生かしたわけだが、子どもたちにオファーするということは、ある意味、賭け的な要素もある。どんなクオリティのロゴマークが集まるのだろうか…そもそも応募してくれる子どもたちはいるのだろうか。応募作品の目標数を100作品と少し高めに目標数を設定し、祈りながら待つことに。

はじめての充実感と達成感

ロゴマークの募集が始まり、高めに設定したはずの100作品応募の目標は軽く超え、最終的に338作品のロゴマークの応募があった。これは対象となる子どもたちの約10人に1人が応募してくれた計算になる。しかも応募された作品のどれも、東海村の名物や村が指定している花や鳥や木、

自分が好きな東海村の場所などをモチーフに描かれていた。

描いている子どもの姿を想像してみる。日曜日の昼間、家族が揃うリビング、応募用紙を前にロゴマークの構想を練る小学生。「おかあさん、東海村って何が有名な？」「東海村っていえばやっぱり干し芋じゃない？お父さんにも聞いてみたら？」「干し芋も有名だけど、実はブドウもおいしいんだぞ」「へえ～そうなんだ…。ほかにもあるかもしれないから調べてみようかな」もしかすると家族でこのような会話がなされていたかもしれない。

このような経験は東海村が周年記念を迎えるたびに、「そういえば東海村が70周年記念のときにロゴマークを描いて応募したんだ。」と、記憶に残る出来事になっているかもしれないし、そうであったらとてもうれしい。

担当になり、はじめて感じた大きな充実感と達成感であった。

事務局選考とWEB投票の結果、村内在住の中



図4 ロゴマークを届けに来てくれた親子



図5：グランプリ作品

学2年生の応募作品がグランプリとなり、東海村発足70周年記念ロゴマークが完成した。

知識ゼロから始める官民共創 ～熟成期～

官民連携とか、官民共創とか、恥ずかしながらそういった言葉とはまったく無縁であり、理解もゼロであった。しかし、東海村発足70周年記念事業ではこの“官民共創”に取り組むべしという課題があった。これには頭を悩ませた。民間企業と共に周年記念事業を行う、それは委託者と受託者といったような縦の関係ではなく、課題や想いを共有し、同じ方向を向いて並走していくような横の関係で取り組む…。そんなこと、どうやってできるの???

いくら考えても良い案は浮かばなかった。(寝かせて、熟成させよう…)聞こえがいい言葉に変え、頭のすみっこの方へと置いておくことにした。

新メンバー加入！

令和6年10月、村発足70周年記念事業担当に待望の新メンバーが加入した。20代女性、社会人経験はあるが、公務員として本格的な自治体業務を担うのは初めて。こうして私たちは、保育士、会計年度任用職員、学芸員、新人職員という、史上最弱のネーミングに拍車をかけるような肩書をもつラストピースを加え、更なるドタバタな奔走劇へと突き進むのであった。

知識ゼロから始める官民共創 ～実践期～

東海村は令和7年3月31日に発足70周年を迎えた。この記念すべき日を大勢の人とお祝いし喜び



図6 新メンバーも初心者

合いたい。保育士の思考は、お祝い＝誕生会とド直球なアイデアを生み出し“東海村70歳のお誕生会”を開催することにした。参加した人たちがみんな楽しめるような、にぎやかなお誕生会にしたい、にぎやかにするためにはやっぱり音楽が必要だろう。残念ながら我々担当内では人前で披露できるほどの演奏スキルを持つ者はおらず、誰かにお願いすることが必須となった。

プロに頼む予算などもちろんあるはずもないため、飛び込みでお願いすることとした。知識と経験はなかったが、人よりちょっぴり度胸はあったため、思い当たる方々に、一緒に東海村のお誕生日をお祝いしてくれるようお願いしていった。(これって…官民共創っぽいじゃん!?と心でひそかに思いながら)東海村吹奏楽団、東海高校ジャズバンド部、障がい者支援施設であるハピネス東海、読み聞かせボランティア団体であるファニーず、幼稚園や保育所と次々に声をかけていった。驚くことにそのすべてが快く引き受けてくれた。また、地元企業の株式会社クリハラントと干し芋業者の株式会社テルズからも快く協賛をいただくことができた。

官民共創を難しく考えすぎていたのかもしれない。しっかりと想いを伝えれば協力してくれる人たちはたくさんいる。3月30日、31日と2日間開催した東海村70歳のお誕生会には2日間で延べ約800人もの方に参加いただき、大盛況に終わった。

たのしい記念式典

令和7年4月、新年度を迎え、いよいよ東海村発足70周年記念のメインイヤーが開幕した。7月には最大の事業である記念式典を控えていた。記念式典といえば、来賓の方々より祝辞をいただいたり記念の表彰を行ったりと、厳かなものが一般的である。しかし、東海村は私たち担当だけではなく、相談に乗っていただいていた上司の方々も柔軟な発想をもっていた。「多くの人に楽しんでもらえるような…2日間にして前日祭もやろうよ!」「なるほど!いいですね!」…このときは学祭でもやるかの如く、甘い考えであったであったが、2日連続でビッグイベントを開催するということは甘いどころか激辛であった。開催1か月

ほど前から、ものすごい速度で膨大な量の業務が襲い掛かってきた。最高に濃密で過酷で充実した1か月を過ごし、会場である東海文化センターにて、7月5日に記念コンサートを、7月6日に記念式典を開催する運びとなった。幸いなことに史上最強メンバーはメンタルもフィジカルも最強だったようで、誰一人体調を崩すことなく当日を迎えるのだった。

クラシックとロック —記念式典前日祭—

記念式典前日祭についてのご説明。東海文化センターでは東海村出身の世界的オーボエ奏者である荒木奏美氏を中心に、同じく各地で活躍するアーティスト、鈴木菜月氏(フルート)、山田涼子氏(オーボエ)、村上さくら氏(クラリネット)、そしてゲストピアニストとして荒木氏のご友人である大崎由貴氏(ピアノ)を迎えクラシックコンサートを開催した。

荒木氏、鈴木氏、山田氏、村上氏については同じ時期に同じ小学校・中学校の吹奏楽部に所属していた先輩後輩であり、演奏の合間のMCでは当時の思い出が語られた。同窓会のような和やかで、それでいて東海村には、こんな素晴らしいアーティストがいるということを来場者に教えてくれた時間であった。コンサートの演出としてプロジェクトマッピングとコラボレーションした演奏も行っていただいた。圧巻のステージ演奏の様子は東海村公式YouTubeから視聴できるのでぜひご覧になっていただきたい。

このように文化センターのステージでクラシックコンサートを開催している同時刻、隣接しているふれあいの森公園の野外ステージではロックバンドによるライブが行われていた。公園内には数々のキッチンカーやクラフトショップなどが合計100店舗ほど集まった記念マルシェも開かれ、夜には東海村初のナイトシアターも行われた。(マルシェイベントは翌日の記念式典の裏でも開催された)「クラシックコンサートの裏でライブしてマルシェが開かれている…こういうことが許されちゃうというか、できちゃうのが東海村の良さだよねー」相談に乗ってくれていた上司の一言が今も忘れられない。



図7 記念コンサートを
チェック



東海村、いいムラだなあ。

わかものと共に —記念式典—

東海村ではわかものがやりたいことにチャレンジできるまちづくりを進めている。記念式典でもぜひ、わかものに活躍してもらいたい。これは私の強い希望であった。東海村にある2つの中学校の生徒会役員に「記念式典、東海村の中学生の力を来場者に見せつけましょう！」と思いをぶつけたところ、所属する16名すべての子どもたちが賛同してくれた。子どもたちとは“作戦会議”と銘打って、リハーサルを含めた合計5回の集まりを重ね、来場者に「東海村の式典ってすごい！」と感じてもらえるような式典の内容を考え形にしていた。中学生には、式典の司会進行、受付、来賓誘導、そして来場者に楽しんでもらえるような東海村クイズコーナーを担ってもらった。

受付や来賓誘導については役場職員と共に行い、司会進行は4名の中学生のみで最初から最後まで進行してもらった。「完璧だったね。すごかった！」と、来場者の多くが中学生の活躍に賛辞を贈ってくれた。また、参加してくれた中学生たちからも式典後に「記念式典にかかわることができて良かった。」「東海村のことがもっと好きになった」といった感想をもらうことができ、思い出深い1日となった。

中学生の他にも、地元のミュージカル団体であ



図8 記念式典をチェック



る劇団とみかるに記念動画に出演していただいたり、記念アトラクションには、東海村少年少女合唱団、高校生から大学生のわかものが活躍する“わかもの会議”のメンバーなど、多くのわかものに活躍していただいたりした。こちらも東海村公式YouTubeに記念式典の様子がアップされているので見ていただきたい。

各地でPR活動を実施

周年記念のメイン事業の1つである記念式典が終わっても、我々は歩みを止めることなく、各地で東海村発足70周年記念のPR活動を行った。今シーズンJ1へ昇格を決めた、水戸ホーリーホックや、B1で激戦を繰り広げる茨城ロボッツなどの試合会場や、J-PARC・原子力科学研究所施設公開2025などのイベントに出展させていただき、沢山の方たちがPRブースに訪れてくれた。「東海村いろいろやってていいよね!」「花火いったよ!すごかったね〜」などと、様々な声を直接聞けることは、嬉しくもあり“よし、次もたくさんの方の笑顔のために頑張ろう!”という励みにもなる。

史上最弱メンバーの絆は、参加者の方々の喜びによってより強固なものへとなっていった。



図9：イベントに参加いただいた方々
周年記念ってなんだろう？おわりに。

意識して身の周りに目を向けてみると“〇周年記念”という文字が結構あることに気付く。そのものや事柄がはじまって何年経ったかを感じたり、思い出したりすることにはどんな意味があるのだろうか。AIに“周年記念をなぜやるのか”を尋ねてみると、歴史を振り返り、成長を祝い、将来のビジョンを共有する貴重な機会であるため。というような答えが返ってきた。(う～む、AIってすごい。もうこれが完璧な答えな気がする。)しかし、せっかくの機会なので、自分なりにヒトらしく意味づけをしてみるならば、“当たり前感謝しよう”かなと思う。

周年記念をするぐらいのものや事柄であれば、それだけ長く親しまれてきたであろうし、そこに存在しているのがある意味当たり前になっているのかと思う。

そんな当たり前のものや事柄を、今回の東海村発足70周年記念でいえば、村で暮らしていることや、村が存在しているということに、ありがたい

な。とか、しあわせかも。とか、この70周年記念という節目の1年で感じていてくれたらうれしい。

そして、東海村ってけっこういいじゃん。東海村に住んでいて良かった。などと思える人が1人でも増えていたら、私たちがドタバタと過ごしてきた日々も意味あるものだったのかと思う。

読者の皆様、東海村のことが前よりも気になる存在になりましたか？ぜひこれからも東海村にご注目ください！



担当者の思い



鈴木 学 (すずき・まなぶ)

2008年に東海村東海村職員として保育所に配属保育所に就職。その後、幼稚園と教育委員会において幼児教育に関する業務に従事し、2024年に政策推進課に異動。村の周年記念事業を担当する。プライベートでは、東海村内の男性保育士中心に活動する、読み聞かせボランティア団体『ファニーズ』に所属し、絵本やダンス、寸劇などで子どもたちを楽しませることを趣味としている。



@FUNNYS_2015



花王の化粧品：研究開発の現場から 中性子計測を利用して性能の源を探る

花王（株） 解析科学研究所 久米卓志

1. はじめに

花王では、衣料用・住居用洗剤やシャンプー・コンディショナー、ハミガキ、化粧品、オムツなど、日々の暮らしに寄り添う多くの商品をお届けしています。どの商品もお客様の手で確かな性能を発揮し、さらに使い心地や機能を高め続けるために、私たちは日々研究開発に取り組んでいます。製品の試作の繰り返しやお客様のご意見を伺うモニター評価に加え、性能の源となる現象を科学的に観察・分析することで理解を深めてより良い商品の開発に繋げることが非常に重要です。

とりわけ私たちは、X線や中性子線を用いて、製剤そのものや使用対象（衣類、肌、毛髪など）の微細構造や状態変化を、ナノメートルからマイクロメートル（毛髪の太さの10万分の1程度～百分の1程度）のスケールで観察し、製品の性能向上のメカニズム解明に挑んでいます。

2. 化粧品の開発に向けた皮膚角層の評価・分析

化粧品や洗浄料などの日用品では界面活性剤が広く使われています。界面活性剤は、汚れを落としたり有効成分の浸透を助けたりする一方、皮膚への影響にも配慮が必要です。私たちは、より肌にやさしい製品開発のために、皮膚の最表面にある角層（図1）における界面活性剤の働きを明らかにする研究に取り組みました。角層は「バリア

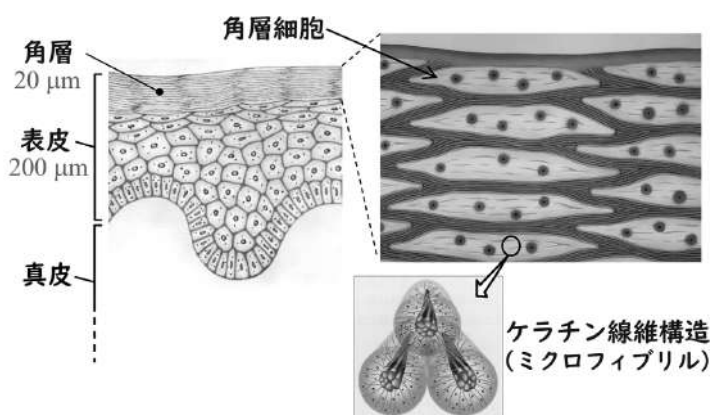


図1 皮膚表面の構造

機能」と「浸透制御」を担う重要な部位であり、その変化を捉えることが鍵となります。とくに角層内部の保水や膨潤に関わるケラチン線維（マイクロフィブリル）に注目し、小角散乱法という手法で構造変化を調べました[1,2]。

まず、大型放射光施設SPring-8の強力なX線を使った小角X線散乱法（SAXS）で、踵角層の粉末試料を水に浸したとき、マイクロフィブリルの隙間に水を抱える様子を捉えることができました。ところが、実使用を想定した界面活性剤水溶液では、溶液中に現れる界面活性剤が集まったミセルという構造体がX線を散乱するために、角層のマイクロフィブリルの散乱をうまく分析できません。SAXSだけではこの問題を解決することは困難だったのですが、そこで中性子線の出番となります。中性子線では、同じ物質でも水素（H）を重水素（D）に置き換えると“見え方（コントラスト）”が変わる特長を利用できます。界面活性剤の水素を重水素にした「重水素化界面活性剤」と溶媒と

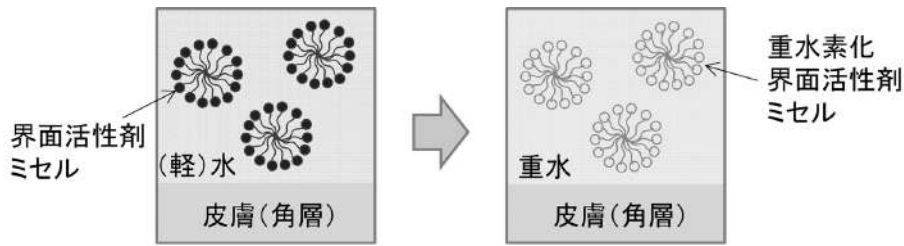


図2 皮膚(角層)と界面活性剤水溶液中でのコントラストマッチング法の概念図

して重水 (D_2O) を用いると、溶液中に存在するミセルはそのままでも、中性子に対して“見かけ”では透明になり散乱しないため、角層だけを選択的に観測できるのです(図2)。この手法はコントラストマッチング法と呼ばれます。これにより、ケラチン線維単独の構造変化を評価できるようになりました。

実験は、茨城県にある大強度陽子加速器施設(J-PARC)内の大強度中性子ビームが利用できる物質・生命科学実験施設(MLF)で行いました。図3は、代表的な界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウム(SDS)を用いた小角中性子散乱(SANS)の結果です。踵角層粉末を、重水、通常のSDS(h-SDS)の重水溶液、重水素化SDS(d-SDS)の重水溶液にそれぞれ浸漬して比較しました。通常のSDS溶液では角層由来の散乱にミセルの散乱が重なりますが、重水素化SDSではミセル由来の散乱が打ち消され、重水の場合と比較できるようになりました。その結果、界面活性剤溶液で

は、水の場合に比べてケラチン線維がより大きく膨潤し、その秩序が乱れることが分かりました。

一方でSANSは短時間での動的変化の追跡は得意ではありません。そこで、時間分解に強いSPring-8での放射光SAXS測定を併用し、相補的に研究を進めています。

3. 様々な製品開発での中性子計測の利用例

ここまで、界面活性剤溶液が皮膚角層に与える影響の分析事例をご紹介しました。中性子計測は、これ以外の製品開発にも幅広く活用しています。化粧品製剤を対象とした例では、ナノメートルサイズの油滴が分散したジェルの構造のSANSでの分析があります。これは“なじみやすさ”などの使用感に直結するメカニズムを明らかにするために実験しました[3,4,5]。

また、衣料用の洗剤や柔軟剤では、繊維表面に界面活性剤の分子が付着することで性能を発揮する

ことが知られています。そのような現象の詳細なメカニズムを調べるために、極めて平滑なシリコン基板を表面のモデルとして用い界面活性剤水溶液を接触させて、界面活性剤分子の付着状態を評価する中性子反射率法という実験も行っています[6]。

さらに一般のお客様に使っていただくBtoC製品に加え、花王では界面活性剤や油脂などのBtoB製品も扱っています。その応用の一つとして、コンクリートの流動性・分散性を制御するレオロジー改質剤の技術を拡張し、福島第一原発における燃料デブリの取り出しを安全かつ迅速に進めるための非

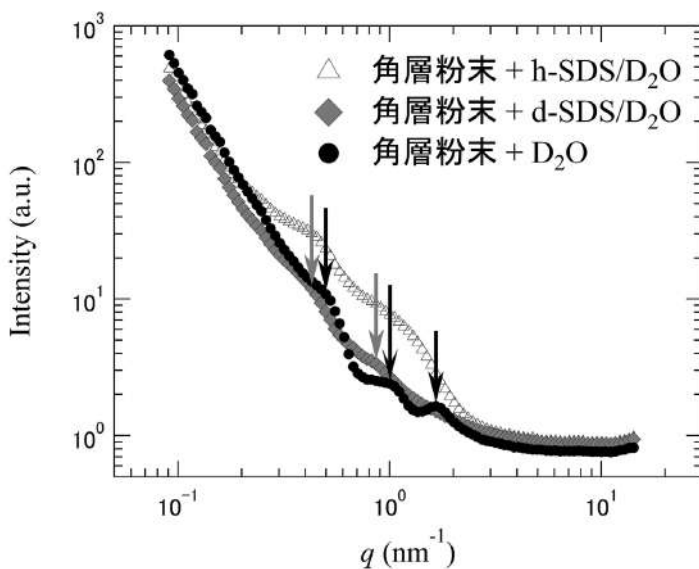


図3 h-SDS、d-SDS 重水溶液および重水に浸漬した角質層粉末の SANS データ

溶解性中性子吸収材（再臨界防止剤）の研究開発を行っています。セメントや砂の代わりに中性子を吸収する炭化ホウ素（ B_4C ）を混合した材料を検討し、水中でも分散せずデブリに付着することを目指しました[7,8]。

その性能を評価するため、J-PARC MLFで中性子イメージング（透過像・CT測定）実験を実施しました（図4）。中性子をよく通すアルミニウム製のモデルデブリに、非溶解性中性子吸収材や比較用のセメントを付着させて観察したところ、透過像では吸収材が中性子を効果的に遮蔽する様子が、CT像ではデブリ周囲に吸収材が確かに付着している様子が確認できました。中性子ならではの可視化で、材料の機能を直接確かめられます。

4. おわりに

ご紹介したとおり、花王では日用品からインフラ関連まで、多様な対象に対して中性子線や放射光X線を活用し、製品の性能の源を“見て、測って、理解する”ことに挑んでいます。こうした計測技術は、研究開発の確度を高め、お客様に安心してお使いいただける価値へとつながります。

なお本稿で紹介した実験は、J-PARC MLFおよびSPring-8における成果公開型課題として実施しました。実験に際しご指導・ご支援を賜りました関係者の皆様に、心より御礼申し上げます。また本稿の内容は、2025年7月17日・18日に開催されました「令和7年度 中性子産業利用報告会」での講演に基づいています。令和8年度も昨年と同様に、中性子産業利用推進協議会、総合科学研究機構（CROSS）、J-PARCセンター、JRR-3、茨城県、東京大学物性研究所の共同での主催により、秋葉原コンベンションホールにて7月16日・17日に開催予定です。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

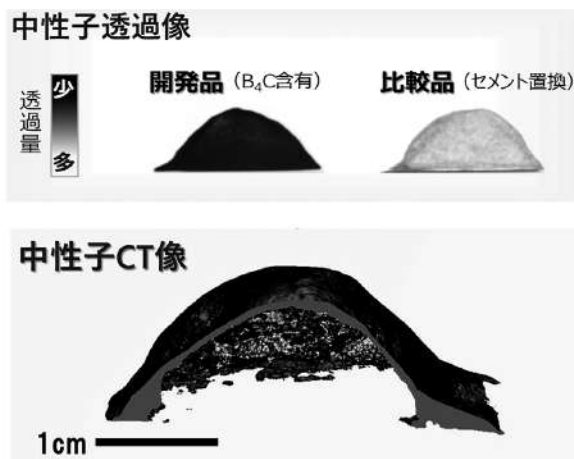


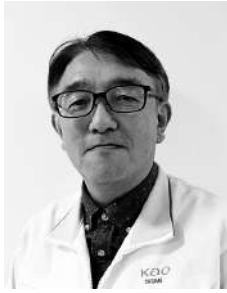
図4 非溶解性中性子吸収材を付着させたモデルデブリ試料の中性子透過像・CT像

参考文献

- [1] 久米卓志, 山田真爾, 小野尾信, 波紋 24, 15 (2014) .
- [2] 久米卓志, 波紋 30, 32 (2020) .
- [3] H. Kawada, T. Kume, T. Matsunaga, et al., Langmuir 26, 2430 (2010) .
- [4] 久米卓志, 波紋 20, 110 (2010) .
- [5] 久米卓志, 高分子 65 128 (2016) .
- [6] 岡村諭, 青野恵太, 司馬寛也, 鈴木不律, 鶴田七海, 飯村兼一, 第74回コロイドおよび界面化学討論会講演要旨集 P2-26 (2019) .
- [7] 南原涼太, 久米卓志, 牛尾典明, 日本原子力学会2019年秋の大会予稿集 2J09 (2019) .
- [8] 牛尾典明, オレオサイエンス 20, 459, (2020).

（編集注）日本語の参考文献1、2、4、5、8は、科学技術情報発信・流通総合システム J-STAGE で無料で閲覧できます。

<https://www.jstage.jst.go.jp/>



久米 卓志 (くめ・たくじ)

花王株式会社 解析科学研究所 主席研究員。1996年京都大学大学院工学研究科高分子化学専攻博士課程単位取得退学。同年、花王株式会社に入社。化粧品開発研究に従事。1998年博士(工学)取得。2010年解析科学研究所に異動、2026年より現職、専門は高分子・ソフトマター物性、界面化学、化粧品製剤開発で散乱法・レオロジー等を利用した解析業務に従事。

現在、中性子産業利用推進協議会研究開発委員長、SPring-8利用推進協議会運営委員、文部科学省科学技術・学術審議会研究開発基盤部会 量子ビーム施設利用推進委員会委員など

CROSS

用語解説



界面活性剤

分子内に水になじみやすい部分(親水基)と油になじみやすい部分(親油基・疎水基)を持つ物質。石けん・洗剤の主成分で、表面張力を下げるほか、水と油のように性質の異なる液体を均一に混ぜる働きをする。

小角散乱法

物質にX線や中性子線、可視光などを照射して、小さな角度で散乱された光(散乱光)を測定して内部構造を探る手法。X線・中性子線では主にナノメートルスケール、可視光では数百ナノメートル~マイクロメートルの構造を観察できる。

俳句

山口恭弘

昨年は、野球と相撲の世界で若きスーパーヒーローが世を沸かし、吾もかくありたしとあり得ぬ夢を見た年でした。彼らの並々ならぬ日々の努力が実を結んだ結果と聞くにつけ、吾も毎日堅実に生きるべしとしみじみ思うこの頃です。秋から新年の俳句を拾ってみました。今年も心穏やかに過ごせますように。

二年ぶり苦みも嬉し初秋刀魚

笑み栗の中より届く^{はは}妣の声

主逝く熊にくれたし庭の柿

子の喰ふ渋柿の味如何に説く

小春風天草染める茜雲

空つ風一番違いのハズレ券

つはの花つくばい濡らし客を待つ

芒^{すすき}枯る今は更地の保育園

夜咄のろうそく尽きて明の鐘

冬晴れや湖の向かふに^{ほうき}伯耆富士

宍道湖に雪雲映し一人旅

炊事場に日めくりの跡^{こぞ}去年今年

(やまぐち やすひろ)

1955年静岡県伊豆生まれ、ひたちなか市在住。日本原子力研究所、総合科学研究機構を経て、現在は林住期(世俗を離れ、自分らしく自由に生きられる歳頃)。弓道、茶道、書道、仏道、鉄道、俳句・川柳、里山歩き、郷土史などを学び楽しんでいる。

劣化ウランの資源化に向けた新しい蓄電池 原子力と再生可能エネルギーとの相乗効果を最大限に

日本原子力研究開発機構 NXR 開発センター 大内 和希

開発の背景

ウランは天然に存在する最も重い元素であり、主に原子力発電に利用されている。天然に存在するウランは、質量数の異なるウラン235とウラン238が存在する。そのうち、原子力発電の燃料に利用されるのは、核分裂を起こしやすいウラン235である。しかし、天然のウランにはウラン235が0.7%程度しか含まれておらず、残りの99.3%は核分裂を起こしにくいウラン238が占めている。

そのため、燃料製造時には、ウラン235の含有率を3～5%まで高める「濃縮」操作を行う。この濃縮を行うと、ウラン235の含有率が天然ウランよりも低い「劣化ウラン」が副産物として発生する。劣化ウランは現行の原子炉（軽水炉）の燃料として使用できず、日本国内にはおよそ16,000トン保管されている[1]。

劣化ウランは、次世代の高速炉燃料として利用可能な、将来のエネルギー安全保障を支える資源であるが、高速炉の商用化まで日本国内では利用用途はない現状である。原子力産業以外では、過去には、その高密度な性質を活かしロケットや航空機の動翼カウンターウェイトとして使用されていた。しかし、事故時における放射性物質（劣化ウラン）の拡散による安全性の問題から現在は非放射性物質である代替物に置き換わっている。以上か

ら劣化ウランの有効な活用が待たれるところである。

一方で、ウランは、「酸化数」と呼ばれる化学的状態を3価から6価まで幅広く取ることができることから、酸化数の変化（酸化還元反応）によって充電や放電を可能とする物質である活物質として有望とされた。2000年代初頭には、ウランを活物質とする蓄電池の概念が提案された[2]。この概念では、プラス極に3価と4価ウランの反応を、マイナス極に5価と6価ウランの反応を利用することを想定していた。従来研究では、3価と5価ウランが水溶液中で不安定であることから主に有機溶媒が用いられ、溶液の導電性を向上する支持電解質や、ウラン化合物を安定化させる試薬（配位子）が添加された。しかしながら、これら混合溶液条件において蓄電池に適したウランの反応を探索する基礎研究にとどまり、これまでにウランを活物質とする蓄電池を実際に組み上げ、その性能を報告した例は世界的になかった。

我々は、劣化ウランを活用する蓄電池技術と

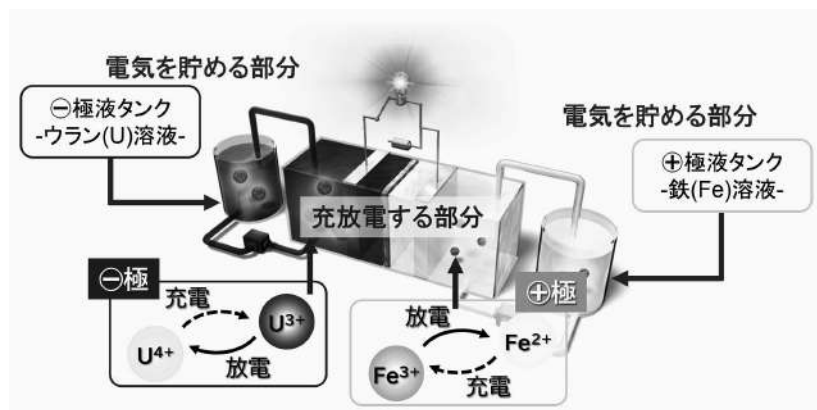


図1 レドックスフロー電池の原理

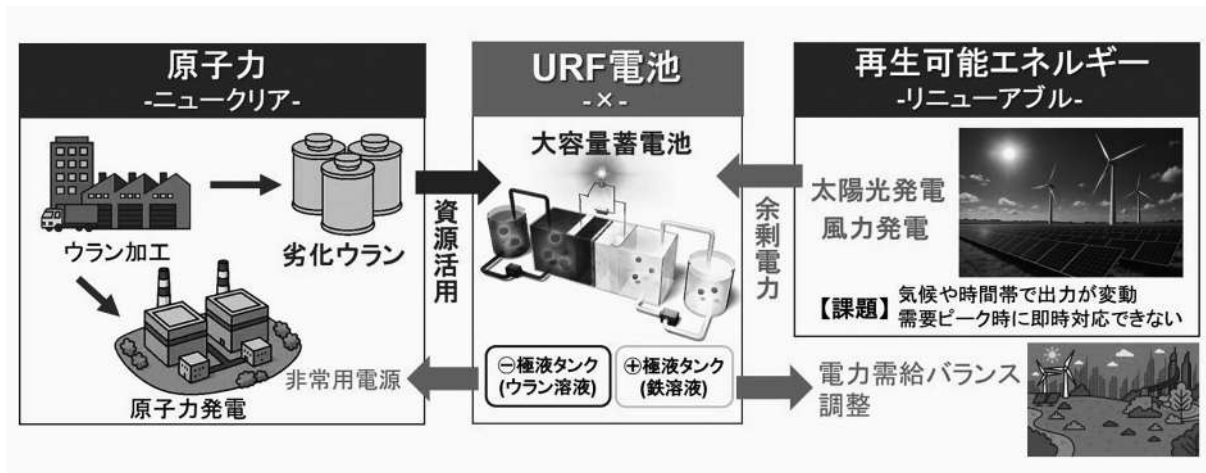


図2 ウラン蓄電池の社会的意義

してウランレドックスフロー電池に着目した。レドックス (redox) とは化学反応である還元 (reduction) と酸化 (oxidation) を組み合わせた造語である。

レドックスフロー電池は充放電の化学反応を行うセルと電気を貯める活物質が溶解した電解液を入れるタンクが別々になっており、外部のタンクから電解液をセルにポンプにより循環 (フロー) することで充放電する蓄電池である (図1)。セルとタンクが別々に構成されていることから据置型の大容量蓄電池の設計が比較的やすく10MW以上の大容量化にも対応できる特徴がある。

現段階で実用化されているレドックスフロー電池では、活物質にバナジウムが用いられているが、日本はバナジウムを完全に輸入に依存している。国内にある大量の劣化ウランを有効活用すれば海外に依存しない純国産のバッテリー源を提供可能となる利点がある。

政府は第7次エネルギー基本計画において、再生可能エネルギーの大規模導入 (主力電源化) に向けて、蓄電池を調整機能の一つに位置付けている[3]。近年、導入が拡大されている風力や太陽光などの再生可能エネルギーは、天候や時間帯によって発電量が大きく変化する課題がある。これに対し、この大容量の電力を貯めることができるウランを活物質とした蓄電池 (ウラン蓄電池) があれば、太陽光発電や風力発電で作った余剰電力を貯めておき必要な時に供給することで電力の需要と供給のバランスを最適化することができる (図2)。

我々は、ウラン蓄電池の性能を明らかにすることにより、劣化ウランの資源としてのポテンシャルを最大限に引き出し、原子力と再生可能エネルギーのシナジー効果による脱炭素社会の実現への貢献ができると考えた。

新しいウラン蓄電池の設計

我々は、新しいウラン蓄電池を設計するために、有機溶媒とイオン液体を混合した電解液を使用した。詳細な条件については、本研究に関する論文 [4,5]を参照されたい。有機溶媒は、電気的な安定性が高く (電位窓が広い)、ウラン化合物の溶解度が高いものを選択した。イオン液体は、有機溶媒中で支持電解質とウランの安定化試薬として機能することを期待し選択した。また、プラス極に鉄を活物質として採用した。鉄を選択した理由は、プラス極の電解液を安定化できることに加え、従来想定されていた5価と6価ウランの反応より電圧 (単位:V) の向上を見込まれたためである。この電解液の中では、ウランと鉄はそれぞれ溶解した状態 (イオン) で存在する。

ウランと鉄が蓄電池の活物質として適しているか確かめるために、ウランと鉄の酸化還元反応を調べた。それぞれの酸化還元反応が起きる電位 (酸化還元電位) の差から電池の電圧 (起電力) が決まる。イオン液体と有機溶媒の混合溶液にウランと鉄化合物を溶解したそれぞれの試料の電気化学測定を行ったところ、3価と4価ウランイオンの酸化還元電位は、-1.02 Vで、2価と3価鉄イオンの酸化還元電位は、+0.432 Vであった。

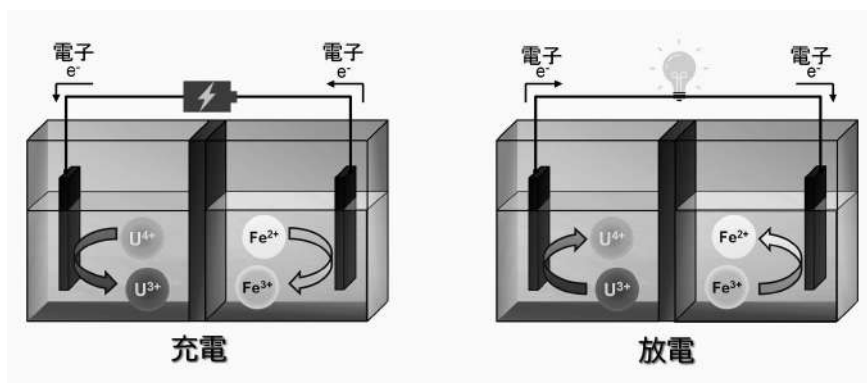


図3 ウラン蓄電池の充放電の原理
(裏表紙にカラー図を掲載)

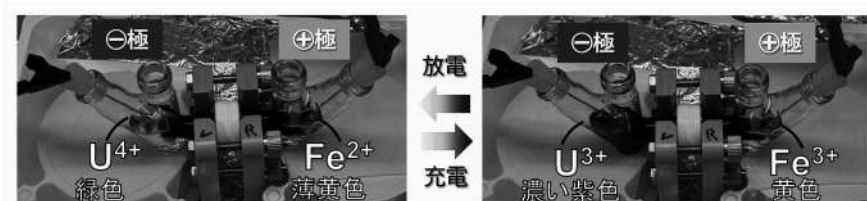


図4 充電及び放電での電解液の色の变化

以上から、イオン液体と有機溶媒の混合溶液中の3価と4価ウラン及び2価と3価鉄の反応はそれぞれマイナス極及びプラス極に適していることが確認できた。また、この反応系から推定される蓄電池の起電力は約1.4 Vであり、先行研究で提案されていた3価と4価ウラン及び5価と6価ウランの反応系から推定される起電力(約1.1 V) [5]よりも大きくなる見込みが得られた。

ウラン蓄電池の実証

設計したウラン蓄電池の実験的な実証を試みた。今回は、ウランを活物質とする蓄電池の構築に焦点を当てているため、蓄電池の評価に適した電解液をフローしない単純な構造の小型セルを用いて試作電池を組み立てた。

試作電池は、マイナス極電解液に4価ウランを溶解したイオン液体と有機溶媒の混合溶液、プラス極電解液に2価鉄を溶解したイオン液体と有機溶媒の混合溶液をセルに入れ、両電極には炭素製のフェルトを用いた。充電時、プラス極では鉄イオンの酸化数が2価から3価に変化し、電子(e-)が放出される。この電子は回路を経由してマイナス極へ移動し、ウランイオンの酸化数を4価から3価に変化させる。プラス極からマイナス極へ電子の流れ(電流)を発生させ、ウランイオンと鉄

イオンの酸化数を変化することで、電気エネルギーを化学エネルギーに転換して充電する。

放電時、ウランイオンは3価から4価へ、鉄イオンは3価から2価へ変化することで回路に電流が発生し、化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出すことができる(図3)。充電時のウラン及び鉄イオンの変化は、電解液の色の变化として視覚的に確認できる。充電前、ウランを溶解したマイナス極電解液は緑色でウランイオンの酸化

数が4価で、鉄を溶解したプラス極電解液は薄黄色で鉄イオンの酸化数が2価であることを示している。充電の進行により、マイナス極電解液は徐々に濃い紫色に、プラス極電解液は黄色に変化した。これは、4価ウランイオンが3価へ、2価鉄イオンが3価へ変化したことに伴ったものと推察できる。放電を始めると電解液の色は徐々に充電前の色へと戻った(図4)。

3 mAの電流で15分間充電した(充電率約9%)後、負荷をかけず試作ウラン蓄電池の起電力を測定したところ、約1.3 Vであった。この値は、ウランと鉄の酸化還元電位から予測された値に近かった。また、この起電力は30分間安定しており、試作電池の電気を貯蔵する能力が確認できた。実際に、充電後の試作電池をLEDに繋ぐと、点灯することが確認できた(図5)。これは、試作電池に貯めた電気を取り出せたことを意味する。また、充電と放電を10回繰り返しても充電した電気量に対して取り出せた電気量の割合(クーロン効率)はほとんど変化せず、平均値は86±2%であった。さらに、マイナス極及びプラス極とも電解液中に析出物はなかったことから、ウラン蓄電池では比較的安定して充電と放電を繰り返せる可能性が示された。

以上の実験結果から、ウラン蓄電池の最適化は



図5 ウラン蓄電池によるLED点灯試験

必要であるものの、充電と放電の性能を世界で初めて実験的に評価し、ウランが蓄電池の活物質として機能することが確認できた。本研究のウラン蓄電池では、イオン液体が支持電解質とウランの安定化剤として機能することから、先行研究で提案されていた電解液系の組成より簡易化できた。また、先行研究で想定したウラン蓄電池の推定起電力（約1.1 V）よりも大きくなったことから電池性能の向上にも成功したと言える。これらの成果は、ウランを用いた蓄電池システムとして特許出願中である[6]。

今後の展開

今回、条件が最適化されていない小型セルの構成により実験しており、電極が小さいことや電極間距離が長いことなどにより電池内部の抵抗が比較的高くなり、高負荷時のロスが課題として考え

られる。今後は、セル構成の最適化を行うとともに、ウラン蓄電池の容量（電気を蓄えられる量）の向上を目指し、電解液をフローさせる電池（ウランレドックスフロー電池）の構築を行う。具体的には、蓄電池を構成する電極間距離を短くすることや隔膜の最適な材料は何か、循環させる電解液の量を増やすことで大容量化ができるのか、といった検討を進める計画である。ウランレドックスフロー電池として蓄電池のスケールアップに成功し、国内に保有する劣化ウランを蓄電池として実用化・社会実装に至れば、メガソーラーの需給調整機能などを担うことで脱炭素社会実現への大きな貢献が期待できる。

参考文献

- [1] 「我が国における令和5年(2023年)の保障措置活動の実施結果」, 2024年5月15日, 原子力規制庁.
- [2] Y. Shiokawa, H. Yamana, H. Moriyama, J. Nucl. Sci. Technol., 2000, 37, 253?256.
- [3] 第7次エネルギー基本計画, 2025年2月18日.
- [4] K. Ouchi, K. Ueno, M. Watanabe, Sci. Rep., 2025, 15, 18515.
- [5] K. Ueno, K. Ouchi, M. Watanabe, Results Eng., 2026, 29, 109246.
- [6] Y. Shiokawa, T. Yamamura, K. Shirasaki, J. Phys. Soc. Jpn., 2005, 75, 137-142.
- [7] 特願2025-202752 “二次電池とその製造方法”



大内 和希（おおうち・かずき）

日本原子力研究開発機構 NXR開発センター 大容量蓄電池開発特別チーム研究副主幹。専門はアクチノイド化学、分析化学、電気化学。2015年に日本原子力研究開発機構に入構し、ウランなどアクチノイドの溶液内基礎反応や基礎的知見に基づく分析手法の研究・開発に従事してきた。現在は、ウランの資源価値の最大化に向け、蓄電池の開発に取り組んでいる。

記号論による保育者としての絵本選び

—絵本は今日も静かに、小さな心に大切な種を蒔く—

筑波研究学園専門学校こども未来学科 木村 祐介

1. 子どもたちにとっての絵本とは

子どもたちにとって、絵本とはどのような存在なのでしょうか。

その役割について述べると、まず、子どもたちの言語能力を豊かにすることが挙げられるでしょう。絵本が繰り返し読まれることで、子どもたちは物語のリズムや言葉の響きを楽しみながら、自然と語彙を増やしていきます。これは、子どもたちの言語能力を豊かにする土台となります。次に、絵本は子どもたちの想像力を刺激します。現実にはあり得ないような不思議な世界や、個性豊かなキャラクターとの出会いは、子どもたちの創造性をかき立て、自由な発想を促します。さらに、絵本は子どもたちが様々な感情に触れる場にもなります。登場人物の喜びや悲しみ、怒りや不安を追体験することで、子どもたちは共感する心を育み、他者の気持ちを理解する力を養っていくのです。

このように、絵本は子どもたちの言葉の獲得を助け、想像力を育み、そして多様な感情を体験する機会を提供することから、単なる読み物以上の意味をもちます。絵本は、子どもたちが世界を認識し、自己を形成していく上で欠かせない役割を担うツールであり、その認知、感情、社会性などの発達に深く関わる総合的な教育メディアとなり得るでしょう。

2. 絵本をどのように選ぶのか

では、そうした絵本を、保育者たちはどのような観点で選んでいるのでしょうか。

「絵本を選ぶ」といっても、今やその様相は多

種多様で、数多くの本が出版されています。

一例として、幼稚園教諭や保育士を目指している学生に、「実習で子どもたちに読んだ絵本はどのように選んだのか」、保育者として子どもたちと接する際に「どんな視点で子どもたちに読む絵本を選ぶのか」質問してみると、「物語の内容」や「季節に関するもの」、「年齢を意識したもの」などの意見がありました。

保育現場や家庭においても、絵本を選ぶ際の基準は様々あると思われます。主な観点としては、以下のようなものが挙げられるのではないのでしょうか。

まず、子どもの発達段階に応じた内容を基準とすることがあります。子どもの年齢や発達段階に合わせた文字の量や内容の複雑さを考慮して絵本を選定します。『幼稚園教育要領』や『保育所保育指針』などを参考に、子どもの発達段階の様子を鑑み、絵本の内容と照らし合わせます。例えば、乳児向けには、鮮やかな色使いや単純な形、音の響きを楽しむ絵本などが適していることがあります。

次に、何かしらのテーマをもって絵本を選ぶことがあります。友情、家族、自然、異文化など、絵本が扱うテーマを吟味します。特定の社会性を育む目的や、季節の行事に関連した絵本を選ぶことなどがあります。

そのほかには、絵の質やストーリー性、著者の評価などに注目して絵本を選ぶことがあると思います。絵の質であれば、絵の美しさや、子どもの想像力を刺激するような独創的な絵が描かれているかを重視するでしょう。ストーリー性に着目す

れば、物語に起承転結があり、子どもを引き込む魅力的なストーリーであるかを重視するでしょう。著者の評価から選ぶのであれば、有名な絵本作家やロングセラー作品を選ぶことで、質の高い絵本に出会えるという考え方になるでしょう。

これらの基準は、もちろん絵本選びにおいて重要となります。しかし、これらの基準だけでは、絵本が子どもに与える意味の本質を見落としてしまう可能性があります。なぜなら、絵本が伝えるメッセージは、言葉や絵の表面的な部分だけでは捉えきれない、もっと深い次元に存在しているからです。

そこで、私は、絵本の選び方の一助として、“記号論”の視点を取り入れてみることを提案します。

3. 記号論について

記号論とは、簡単に言えば「意味がどのようにして作られるか」を探求する学問です。物事や現象がもつ意味を、“記号”という概念を使って分析していきます。この「記号」は、スイスの言語学者ソシュールによって提唱された、「シニフィアン(signifiant, 記号表現)」と「シニフィエ(signifié, 記号内容)」という2つの要素から構成されています。

「シニフィアン」とは、意味を伝えるための「形」や「音」、つまり、目に見えたり耳で聞こえたりする具体的なものです。例えば、「いぬ」という言葉の音や文字、あるいは犬の絵そのものがシニフィアンにあたります。そして、「シニフィエ」とは、シニフィアンによって示される「意味」や「概念」です。例えば、「いぬ」という言葉が指し示す、あの四本足で「ワンワン」と鳴く動物の概念が「シニフィエ」となります(図1)。

この2つの関係は、決して固定されたものでは

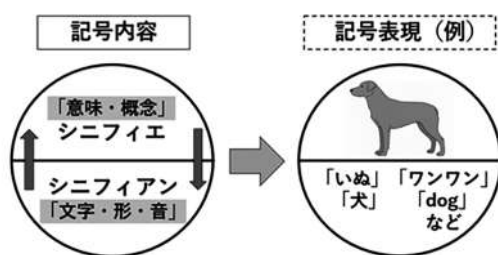


図1 記号内容と記号表現の例

ありません。文化や社会的な文脈によって、同じシニフィアンが異なるシニフィエを持つこともあります。例えば、赤い色は、日本では「危険」や「情熱」を意味することが多いですが、国や文化によっては「幸運」や「清浄」など、全く異なる意味をもつこともある、ということです。

絵本は、この記号の集まりで構成されています。言葉、絵、色、構図、登場人物の表情、これらすべてがシニフィアンであり、それぞれが何らかのシニフィエを子どもたちに伝えています。こうした記号論の視点をもつことで、私たちは、絵本が言葉や絵の裏側で、子どもたちに無意識のうちに伝えようとしている潜在的なメッセージを読み解くことができるようになるのです。

4. 記号論の視点による絵本選定

記号論の視点を取り入れると、絵本選定の基準はより深く、多層的になることが期待できます。単に「良い絵本」を選ぶだけでなく、「この絵本が子どもにどのような意味を伝えているか」を潜在的なレベルで吟味することが可能になります。

以下では、記号論を用いた絵本解釈の事例をいくつか示してみます。

まず絵本における「言葉」を記号論で考えてみます。言葉は最も明白な“記号”となります。しかし、言葉がもつ表面的な意味だけでなく、その背後にあるメタファー(隠喩)にも目を向ける必要があります。

例えば、『三びきのやぎのがらがらどん』は、やぎが困難を乗り越える物語ですが、「がらがらどん」という言葉の響きは、そのキャラクターの勇敢さや逞しさを象徴しています。『ぐりとぐら』であれば、「ぐり」と「ぐら」という言葉の響きは、どちらも柔らかく親しみやすい音です。子どもが発音しやすく、リズム感があります。記号的な意味を考えれば、名前が似ていることで「対(ペア)」の存在を強調し、協力や友情などを象徴しています。『はらぺこあおむし』の「はらぺこ」であれば、「空腹」ではなく「はらぺこ」という幼児語を使うことで、読者との距離を縮めています。記号的な意味を捉えるなら、成長への欲求や変化の予兆が示されます。『ねないこだれだ』の「ねないこ」

では、「寝る子」ではなく「寝ない子」と否定形を使用することで、規範からの逸脱を強調しています。記号的意味としては、社会的ルールと個人の欲望の対立が象徴されます。

次に、絵本における「絵」を記号論で考えてみます。絵本において、絵は言葉以上に多くの情報を伝えます。色、形、構図、視線など、これらすべてが記号となります。

例として、まず、色の記号性に焦点を当ててみます。青は「落ち着き」や「悲しみ」、赤は「情熱」や「怒り」など、色は特定の感情や概念を象徴することが多くあります。もっと具体的に言うならば、暗い色彩で描かれた絵本は物語の不穏な雰囲気を与え、鮮やかな色彩の絵本は「楽しさ」や「喜び」を表現することがわかります。

次に、構図に焦点を当ててみます。絵のどの位置に何が描かれているかも重要です。上部に描かれたものは「威厳」や「権力」を、下部に描かれたものは「安定」や「弱さ」を象徴することがあります。登場人物が絵の中央に大きく描かれているれば、そのキャラクターの重要性を示唆していることがわかります。キャラクターの姿かたちにも記号性があります。例えば、キツネであれば「ずる賢い」ことを示したり、トラであれば「強さ」を表したり、クマであれば「強さ」や「優しさ」を象徴したりすることがあります。

これらの記号が、物語の言葉と合わさり、子どもに複雑な意味を伝えています。単に「絵がきれいだから」という理由で選ぶのではなく、「この絵が何を表しているか」を読み解く視点が重要になるのです。

5. 記号論的アプローチの留意点

記号論の視点を取り入れることは、絵本選定をより深いものにしますが、いくつかの留意点もあります。

まず、過剰な解釈を避けることです。記号論は万能ではありません。作者が意図しなかった意味を無理に読み取ろうとすることは、絵本の本質的な魅力を損ねる可能性があります。あくまでも、子どもたちが絵本から受け取るであろう、自然なメッセージを読み解くことに主眼を置くべきとな

ります。

次に、子どもの主体性を尊重することです。絵本が伝える意味は、読み手である子どもの経験や感情によって様々に変化します。大人が一方的に「この絵本はこういう意味だ」と決めつけるのではなく、子どもが絵本から何を感じ取ったか、どんな意味を見出したかを大切にすることが重要となるでしょう。絵本を読んだ後の対話を通して、子ども自身の「記号」の解釈を促すことが、真の意味での絵本教育と言えるのかもしれませんが。

6. おわりに —記号論のすゝめ—

より良い保育者を目指す者にとって、絵本は、子どもたちに寄り添い成長を支えるための強力なパートナーとなります。表面的な基準だけでなく、記号論という深い視点を持つことで、私たちは絵本が秘めている豊かな意味の世界を子どもたちに届けることができると考えます。

言葉や絵、色と構図など、絵本の構成要素すべてが子どもたちに語りかけています。その語りかけを注意深く聞き取り、子どもたちの心に響く絵本を選んでいくことは、保育者である者の使命となるでしょう。記号論は、絵本を読むだけでなく“読み解く”ための視座を高めてくれます。記号論的視点から絵本へのアプローチをしていくこと、それは私たちが、子どもたちの豊かな内面世界を育む真の絵本選定のプロフェッショナルとなることへの一助となるのではないのでしょうか。

木村 祐介 (きむら・ゆうすけ)



筑波研究学園専門学校
こども未来学科 常勤講師
姫路大学教育学部通信教育課程
こども未来学科 非常勤講師
茨城県公立小学校教員等を経て現在に至る。専門は初等教育(小学校)、生涯学習、メディア論。

CROSSの動き

2025（令和7）年9月～12月

法人事務局

9月1日 第3回常任理事会を開催し、P1レベル遺伝子組み換え規程及び実験装置（PPMS・MPMS）の課金制度について審議し、令和7年度市民公開講座の開催等について報告を行った。

17日 令和8年度科学研究費助成事業について研究代表者として中性子科学センターから22件、中性子産業利用推進センターから3件、日本学術振興会に申請した。

17日 総合科学研究センター第5回企画委員会を開催し、第1回研究懇談会及びCROSS2025市民公開講座について議論を行い、その他の活動についても報告を行った。

26日 総合科学研究センター第1回研究懇話会を開催し、山田 裕久氏、金谷 範一氏による2件の講演が行われ、その講演内容について意見交換を行った。

30日 中性子産業利用推進センターの日下勝弘が退職した。

10月1日 玉田 太郎氏（量子科学技術研究開発機構）がクロスアポイントメント職員として中性子産業利用推進センターに着任した。

6日 第4回編集委員会を開催し、第81号の進捗状況、第82号、第83号のテーマやCROSS T&TのWeb版索引検索等について議論した。

11月12日 総合科学研究センター第6回企画委員会を開催し、市民公開講座の準備状況確認および第1回研究懇話会の報告を行った。また、その他の活動についても出前授業等の報告を行った。

18日 「CROSS T&T 第81号(特集：社会実装に向けたサイエンス)」を発行し、CROSS会員、図書館・

公共機関・高等学校等へ配布した。

29日 CROSS 2025総合科学市民公開講座「ことしは筑波山だ！」を開催した。参加者数：147名(詳細は本誌の開催報告を参照)

12月1日 第5回編集委員会を開催し、次年度就任予定の新編集委員の紹介、第81号の発送報告及び第82号の編集状況、第83号以降のテーマについて議論を行った。

9日 第4回常任理事会を開催し、中性子産業利用推進センターの体制等について審議した。

J-PARC 物質・生命科学実験施設（MLF）に関する活動

9月1日 第30回CROSSroads Workshop「J-PARC MLFにおけるフォノン研究の現状と展望：理論と実験の連携強化に向けて」を共同で、AYA'S LABORATORY量子ビーム研究センター（AQBRC）1階大会議室（B101）およびオンライン配信（Zoom）によるハイブリッドで開催した。参加者数：会場25名、オンライン44名

2～3日 第22回 SPring-8産業利用報告会を共同で大阪科学技術センター（大阪市）で開催した。参加者数：189名

8～9日 第31回CROSSroads Workshop「中性子散乱による食品科学研究最前線」を共同で、AYA'S LABORATORY量子ビーム研究センターで開催した。参加者数：50名（詳細は本誌の開催報告を参照）

16日 中性子産業利用推進協議会 2025年度第1回金属材料研究会・日本金属学会 量子ビーム解析技術研究会2025年度研究会を共同で、北海道大学（札幌市）およびZoom によるハイブリッドで開催した。参加者数：28名

29日 「パルス中性子によるミクロ構造評価・解

析技術研究会-高分解能イメージングと超小角散乱に基づくマイクロメートルスケール物質科学の新しい展開-」を共同で、秋葉原 UDXで開催した。参加者数：49名（講師含む）

10月2日 プレス発表「重水素で進化するアミノ酸—水素の同位体「重水素」が紫外線に負けないアミノ酸を生み出す—」を実施。日本原子力研究開発機構（JAEA）、J-PARCセンター、CROSSの連名

6日 プレス発表「神経・腎疾患をもたらす酸化還元タンパク質の構造揺らぎ—チオレドキシンの突然変異が疾患の原因となる仕組みを解明—」を実施。理化学研究所、岡山大学、JAEA、CROSSの連名

14日 C B I 研究機構 量子構造生命科学研究所・中性子産業利用推進協議会 生物・生体材料研究会合同シンポジウム「New Structure Based Drug Discovery I」を共同でオンライン開催した。参加者数：136名

15日 2025年度初級者向けZ-Code講習会を共同で、航空会館ビジネスフォーラム（新橋）で開催した。参加者数：46名

16日 第20回 材料系ワークショップを共同で、秋葉原UDX及びオンライン(Zoom)のハイブリッドで開催した。参加者数：会場28名、オンライン131名

17日 第11回 大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウムを共同で、秋葉原UDXおよびZoomによる一方向型配信のハイブリッドで開催した。参加者数：会場64名、Zoom 86名

23日 プレス発表「p波磁性体と呼ばれる新しいタイプの磁性体を実現—電流を用いた高効率な磁化制御などへ期待—」を実施。理化学研究所、東京大学、高エネルギー加速器研究機構、J-PARCセンター、CROSS、JAEA、科学技術振興機構（JST）の連名

27日 理事長表彰賞の表彰式を行った。今年度は花島隆泰氏、松本吉弘氏した。受賞者には盾が贈られ、受賞講演が行われた。

11月5日 第12回放射光・中性子の連携利用に向けた合同研修会「粉末回折測定研修会」を共同でSPring-8(兵庫県佐用郡佐用町)で開催した。参加者数：11名

6日 第13回放射光・中性子の連携利用に向けた合同研修会「小角散乱測定研修会」を共同でSPring-8(兵庫県佐用郡佐用町)で開催した。参加者数：11名

6日 CROSS Reports「CROSS Reports Vol. 3, Article 4「J-PARC MLFのビームライン関連研究成果分析—2025年1月実施—」」を発行した。

17～21日 第14回AONSA中性子スクール・第9回中性子・ミュオンスクールを共同で、AYA'S LABORATORY量子ビーム研究センター、J-PARC、JRR-3（以上東海村）で開催した。参加者数：38名

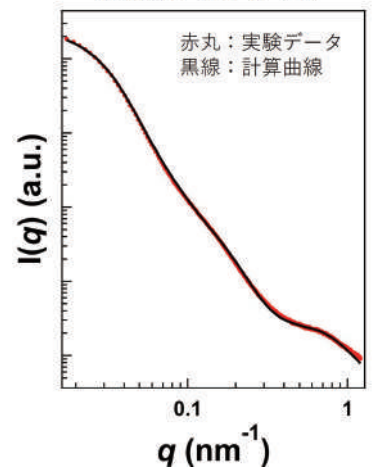
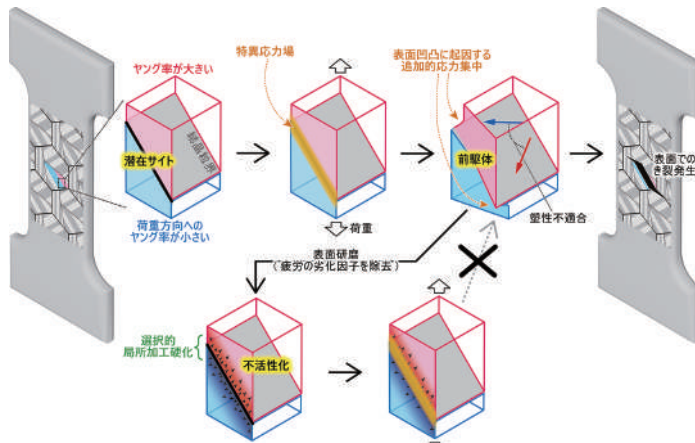
26～28日 日本中性子科学会 第25回年会を共同で、理化学研究所（埼玉県和光市）で開催した。参加者数：233名

27日 研究開発部のMuhammad Khalish Nuryadin 博士研究員が、日本中性子科学会第25回年会のポスター賞優秀賞を受賞した。

12月1日 2025年度理研小型中性子源システムRANSプロジェクトシンポジウムを共同で、理化学研究所鈴木梅太郎記念ホール（埼玉県和光市）で開催した。参加者数：100名

9月17日～12月8日 中性子線共用ビームラインを利用する実験課題の公募をMLFと共同で、優先課題を2025年9月17日～10月7日に、一般利用課題（短期・1年）を10月17日～11月7日に、産業利用促進課題を10月17日～12月8日の期間に行った。共用ビームラインには125件の一般利

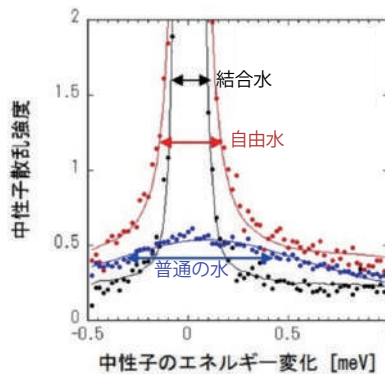
用課題の申請があった。2026年2月10日の「利用研究課題審査委員会・中性子課題審査部会」(J-PARCと合同開催)でこれらの課題の採否について審議が行われ、その後3月10日の「選定委員会・物質・生命科学実験施設利用委員会」(同前)で採択課題が決定される。



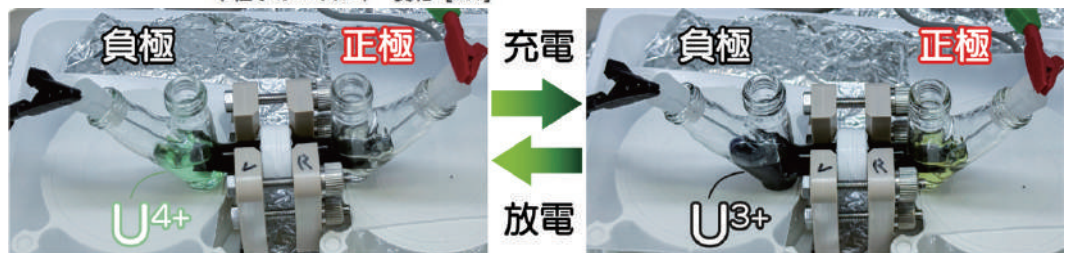
疲労き裂発生および発生抑制メカニズムの模式図
(本文 23 ページ)

実験で得られた牛乳の X 線小角散乱プロファイル (赤色) と水の領域を内包するモデルで計算した計算曲線 (黒実線)。(本文 9 ページ)

色彩図録



(左) 食品中の水の中性子準弾性散乱スペクトル本文 (13 ページ)



ウラン蓄電池の充電及び放電での電解液の色の变化 (本文 40 ページ)

CROSS T&T 第 82 号



令和 8 年 (2026) 2 月 28 日
一般財団法人 総合科学研究機構
理事長 横溝 英明
〒319-1106 那珂郡東海村白方 162-1
いばらき量子ビーム研究センター内
TEL.029-219-5300 (代)

【編集委員会事務局】
〒300-0811 土浦市上高津 1601
筑波研究学園専門学校内
TEL.029-826-6251

<https://www.cross.or.jp/tsukuba/reference/cross-tt>

CROSS T&T 編集委員会
委員長 相澤 冬樹
委員 勝田 敏彦 / 鈴木 國弘
長谷部 喜八 / 湯浅 敏弘 / 水澤多鶴子
事務局 総合科学研究機構 法人事務局
印刷所 株式会社大塚カラー
〒312-0032 茨城県ひたちなか市津田 2031-113
TEL.029-273-1221 FAX.029-274-1046

No.82
2026.2