

## 第24回 油脂優秀論文賞受賞講演会

一般財団法人油脂工業会館 事務局

令和4年度油脂優秀論文の受賞講演会を以下の内容で開催します（参加費無料）。

主 催 一般財団法人油脂工業会館  
日 時 令和5年9月8日（金）12：30～16：30  
場 所 高知工科大学 永国寺キャンパス 104号室  
〒780-8515 高知市永国寺町2番22号  
進 行 （一財）油脂工業会館 事務局

### 〔開会の挨拶〕

12：30～12：35 一般財団法人油脂工業会館 理事長 澤田 道隆

### 〔油脂技術論文の部〕

12：35～12：50 強固付着ケラチンの低機械力洗浄を可能とする界面活性剤と  
キレート剤の相乗効果  
ライオン株式会社 須藤 慎也 氏

12：50～13：05 工業用ポリエチレンオキサイド型非イオン性界面活性剤/  
共界面活性剤/水系におけるスポンジ相形成の重要な因子と  
その界面における特異な性質  
学校法人武庫川学院武庫川女子大学 渡辺 啓 氏

13：05～13：20 親水性イオン液体とリン脂質/コレステロール混合膜の相互作用  
ミヨシ油脂株式会社 金子 恒太郎 氏

13：20～13：35 乳幼児アトピー性皮膚炎における皮脂中mRNAの網羅解析  
花王株式会社 志摩 恭子 氏

### 〔油脂産業論文の部〕

14：00～14：15 食品ロス削減に向けた油脂産業の貢献  
タンニン含有赤米油の有効活用を起点とするアジア開発途上国  
リステージ構想～Sun-Rice Restage～  
花王株式会社 多勢 雄一郎 氏

- 14 : 15～14 : 30 2050 年油脂産業界展望  
リサイクルリンを栄養源とした雑藻バイオ燃料生産の提案  
第一工業製薬株式会社 山本美伽 氏
- 14 : 30～14 : 45 2050 年油脂産業界展望  
ワームオイル生産による環境調和型国内油脂安定供給システムの提案  
花王株式会社 齋藤明良 氏
- 14 : 45～15 : 00 2050 年油脂産業界展望  
パーム廃材からのエメラルド水素製造システムによる  
カーボンネガティブなシン・油脂産業の提案  
花王株式会社 高橋史員 氏

〔研究助成の部〕

- 15 : 25～15 : 40 グラフェン-脂質膜の界面制御による機能発現  
国立大学法人大阪大学大学院 浅原時泰 氏
- 15 : 40～15 : 55 食用油脂の酸化生成物であるエポキシ脂肪酸の吸収・動態解析  
国立大学法人福島大学 吉永和明 氏
- 15 : 55～16 : 10  $\mu$ -1 系多価不飽和脂肪酸の細胞内代謝機構および生理活性の解明  
学校法人関西大学 細見亮太 氏

〔ご講評〕

- 16 : 15～ 公益社団法人日本油化学会 会長 岡野知道 氏

16 : 30 終了

以 上

## 強固付着ケラチンの低機械力洗浄を可能とする界面活性剤と キレート剤の相乗効果

(ライオン株式会社) ○須藤慎也、渡邊洋介、森垣篤典

現代の多忙な生活において、自分らしい時間を創出するため家事負担を軽減することが強く求められている。古くから日本には独自の入浴文化があり、我々は様々な目的で頻繁に入浴し、家族で風呂の湯を共有している。そのため、浴槽は汚れやすく、浴槽を清潔に保ちたいというニーズは高い一方、最も面倒に感じる家事は浴室掃除であることが分かっている。浴槽汚れの主成分は一般にケラチン汚れであると報告されており、水道水中のカルシウムイオンとの結合によりケラチンカルシウム（ケラチンCa）を形成することで、疎水性をより高め、浴槽への付着が促進されると考えられる。浴槽汚れの除去は洗浄剤を用いてスポンジでこする等の強い機械力を加えなければならず、また屈んだ状態での作業が必要なことも相まって掃除時の大きな負担となっている。そこで、この浴槽掃除の負担を軽減すべく、シャワーですすぐ程度の弱い機械力でも除去可能な洗浄手段の実現を目指した。浴槽汚れを構成するケラチンの特徴的な性質として、水和によって剛性を失い、非晶質部であるマトリックスは膨潤することが報告されている。“ケラチンCaの膨潤を促進し体積を増大させることにより、弱い機械力でも洗い流しやすくなる”との仮説のもと、ケラチンCaの除去に対する膨潤の寄与と、その膨潤に対する界面活性剤とキレート剤、溶剤の効果について検討を行った。その結果、ケラチンCaの除去率と膨潤率には高い相関があり、膨潤にはキレート剤によるカルシウム捕捉能とアニオン性界面活性剤による浸透性が関与していることを明らかにした。この時、エチレンジアミン四酢酸(EDTA)と $\alpha$ -オレフィンスルホン酸塩(AOS)といったキレート剤とアニオン性界面活性剤の組合せは、ケラチンCaの膨潤を相乗的に促進することを見出した。また、溶剤であるジエチレングリコールモノブチルエーテルは膨潤度を底上げする補助的な役割をしていることが確認された。さらに、ケラチンCaの構造変化が膨潤に及ぼす影響を明らかにするため、膨潤過程における構造変化を詳細に解析し、AOSとEDTAの効果的な組み合わせでは、ケラチンの非晶質部であるマトリックスのみならず、内部の結晶部の分子運動性を増加させ、構造を緩めることで、膨潤を促進し、短時間かつ低機械力で除去可能となり得る状態に改質したことが示唆された。

工業用ポリエチレンオキサイド型非イオン性界面活性剤/共界面活性剤/  
水系におけるスポンジ相形成の重要な因子とその界面における特異な性質

(学校法人武庫川学院武庫川女子大学) ○渡辺啓

(資生堂ブランド価値開発研究所)

渡邊由樹、張陽

スポンジ相は、その透明性、低粘度、低界面張力などの特徴から興味深い。しかし、スポンジ相に関する過去の研究のほとんどは、純粋な界面活性剤に焦点を当てたものであり、化粧品やハウスホールド製品に使用される工業用ポリエチレンオキサイド型非イオン界面活性剤に関する研究はほとんど存在しない。その理由は、非イオン性界面活性剤の親水基であるポリエチレンオキシドの重合度分布が大きく、相平衡に不規則な挙動が多いことに起因している。本研究では、工業用ポリエチレンオキサイド型非イオン界面活性剤/界面活性剤/水系におけるスポンジ相形成の相平衡を、HLB（親水性-親油性バランス）だけでなく、親水基の重合度分布に着目して調べ、スポンジ相生成の法則を明らかにした。その結果、工業用ポリエチレンオキサイド型非イオン界面活性剤系において、スポンジ相形成の重要なポイントは、(1) 中間的な HLB を有する界面活性剤の選択、(2) 十分な疎油性を有する構造の選択、であることが明らかになった。これらの要因は、ポリエチレンオキサイド基の重合度分布の広さに起因する共界面活性剤（コサーファクタント）の相分離を防ぐ効果をもたらす。さらに、本研究で生成したスポンジ相は凹凸のある疎水性表面での驚異的な濡れ広がり挙動を示した。この現象は、様々な自己組織化構造の中でもスポンジ相が低界面張力と低粘度の特性を有する点で特異的に優れているためである。本研究は化粧品、ハウスホールド製品の分野のみならず、低界面張力が求められる食品、ペイント、インク、経皮送達製剤など様々な分野に活用されることが期待される。

掲 載 誌 名

*Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 641 (2022) 128405

## 親水性イオン液体とリン脂質／コレステロール混合膜の相互作用

(ミヨシ油脂株式会社) ○金子恒太郎、矢下亜紀良  
(学校法人東京理科大学) 酒井健一

イオン液体は「室温付近に融点を有する塩であり、イオンのみからなる液体」と定義され、広義には100℃以下、狭義には室温(25℃)で液体として存在しているものである。様々なカチオン種とアニオン種のものが報告されており、その組み合わせによって親水性や疎水性といった性質を変えることができる。イオン液体の一般的な特徴としては、低融点、高熱安定性、難揮発性、高イオン伝導性などがあり、物性や機能の任意なデザインが可能である。そのため、反応溶媒、電解質材料、潤滑剤、帯電防止剤、熱伝導流体など多数の応用例が報告されている。中でも、親水性イオン液体は電子顕微鏡での生物試料観察の際、試料への導電性の付与や形態の収縮や変形を防ぐことに有効であり、迅速で高忠実な試料前処理手法として実用化されている。本発表では、生体材料分野へのさらなる応用を目指した取り組みとして、細胞膜の基本構成成分であるリン脂質並びにコレステロールを用いて親水性イオン液体と生体材料との相互作用を解明することに取り組んだ結果の一端を紹介する。

本発表は、リン脂質単独膜あるいはコレステロールとリン脂質の混合膜に対する親水性イオン液体の添加効果を、気水界面に展開したジパルミトイルホスファチジルコリン(DPPC)単独での単分子膜あるいはDPPCとコレステロールの混合単分子膜の表面圧面積等温線測定と、DPPC単独及びDPPCとコレステロールで構成させるリポソーム(二分子膜)に対する蛍光異方性測定より考察した研究結果である。この研究結果によって、表面圧面積等温線からは単分子膜での親水性イオン液体との相互作用が明らかとなった。具体的には、膜物質のパッキングが疎となり、膜弾性率の低下(あるいは膜柔軟性の上昇)が示された。さらに、その現象はコレステロールのモル分率が0.2のときに最大となることが明らかとなった。また、二分子膜を用いた蛍光異方性測定の結果によっても同様の傾向となることが示され、単分子及び二分子膜での本現象の効果を確認している。このコレステロールのモル分率0.2の組成は、実際の細胞膜での組成に近似していることから、今回検討に用いた親水性イオン液体が、生体膜との相互作用が強くなることを予見する結果となった。

本研究の成果は、イオン液体が生体膜の膜物性に寄与する点から、界面化学の新たな理解に資するばかりでなく、化粧品、医薬部外品、医薬品、DDS等への応用に繋がるといった点から油脂産業へ貢献するものであると期待する。

掲 載 誌 名

*Journal of Oleo Science*, 71 (1), 67-74 (2022)

## 乳幼児アトピー性皮膚炎における皮脂中 mRNA の網羅解析

(花王株式会社) ○志摩恭子、井上高良、村瀬孝利

アトピー性皮膚炎は乳児期早期から発症し、アレルギーマーチの入り口とも言われていることから、その予防や早期の適切な治療介入が必要とされている。乳幼児期に発症する様々な湿疹の中から、アトピー性皮膚炎を鑑別する際には、痒みの有無や特徴的な皮疹の慢性・反復性を確認する必要があり、診断の確定には長時間を要することもある。アトピー性皮膚炎の診断や病勢把握のために、血液やテープ剥離角層成分の分析が行われることがあるが、低月齢児への適用に際しては、より侵襲性が低く、患児への負担が少ない評価方法が望ましい。我々はこれまで、あぶらとりフィルム1枚で非侵襲的に採取可能な皮膚表上脂質 (Skin Surface Lipid: SSL) に含まれる RNA (SSL-RNA) を網羅的に解析する手法を確立し、SSL-RNA 解析が皮膚状態の分析・理解に有用であることを見出してきた。本研究では、SSL-RNA 解析法を用いた乳幼児アトピー性皮膚炎の非侵襲的病態評価の可能性について検討した。

生後6ヶ月から5歳の軽症から中等症のアトピー性皮膚炎患児(16名)と健常児(23名)の顔から、市販の脂取りフィルムを用いて皮脂を採取し、抽出した RNA について網羅的遺伝子発現解析を実施した。アトピー性皮膚炎患児においては、角化、セラミドや皮脂の合成に関連する遺伝子、抗菌ペプチド、角層細胞間結合といった皮膚のバリア機能に関連する遺伝子の発現が低いことが確認された。また、アトピー性皮膚炎の主たる病態特徴である Th2 型免疫応答に関連するサイトカイン CCL17 (C-C motif chemokine 17、別名: TARC) の発現亢進が認められた。さらに、gene set variation analysis から、Th2 型免疫応答に関連する遺伝子群のスコアが、アトピー性皮膚炎患児において高値を示した。またアトピー性皮膚炎の重症度 (eczema area and severity index (EASI) score) と相関する遺伝子も複数見出された。

以上より、SSL-RNA 解析法を用いることで、軽症から中等症のアトピー性皮膚炎患児の免疫応答と皮膚バリアの異常を検出できる事が明らかとなった。また、重症度の判別ができる可能性を考えると、治療効果のモニタリングにも応用できる可能性がある。非侵襲的に実施可能な本解析法は、乳幼児アトピー性皮膚炎の病態理解や診断補助のための手段として有用である可能性が明らかとなった。

掲 載 誌 名

*Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology* 2022 **36**, 1477-1485.

食品ロス削減に向けた油脂産業の貢献  
タンニン含有赤米油の有効活用を起点とする  
アジア開発途上国リステージ構想～Sun-Rice Restage～

(花王株式会社) ○多勢雄一郎

世界では開発途上国を中心として9人に1人が栄養不足と言われている中、今この瞬間も世界では大量の「食品ロス」が発生している。FAO（国際連合食糧農業機関）の報告書によれば、全世界の食品廃棄量は約13億トンであり、これは世界の食品全生産量の3分の1にも達する。貧困を撲滅し、地球を守り、誰もが繁栄を享受できるようにすることを目的として採択されたSDGsには「1：貧困をなくそう、2：飢餓をゼロに」という目標があるが、食糧を本当に必要としている開発途上国の人々に届けるために、食品ロス削減が喫緊の課題であることは言うまでもない。

本講演では、食糧不足が深刻な開発途上国が抱える農業課題を論じた上で、開発途上国と油脂産業が手を取り合うことで食品ロスを大幅に削減する方策について考察し、食糧不足を解消しながら開発途上国と油脂産業が共に大きく成長していくという、上記SDGsの目的にも適う新規事業モデルを提案する。具体的には、アジア開発途上国のコメ生産場面において混入し廃棄対象ともなる「赤米（あかまい）」に着目する。古代米の一つである赤米は、日本においては赤飯の起源とも言われ、収穫の時期になると田んぼ全体が太陽のように真っ赤に色づく<sup>1)</sup>。赤米からはタンニン等の抗酸化物質を豊富に含む「赤米油」が抽出できる。これを用いて普通米をコーティングし、「赤米油コーティング米」とすることで、大規模な食糧損失低減、コメの高付加価値化を達成でき、この「赤米油」という新規の油脂開発が油脂産業の発展にもつながることを詳細に説明する。開発途上国で廃棄される食糧に油脂産業が関わることで起点となり、開発途上国の人々自身が食糧危機を打開し、生活・健康レベルの向上や産業の発展といった地球の未来に貢献していく様子は、「持続可能な開発（SDGs）」を将に体現するものであると言える。赤米を起点として、開発途上国を中心とするリステージが巻き起こり、地球全体が明るい未来に包まれていくことを切に願っている。

<参考文献>

- 1) 猪谷富雄, 『赤米・紫黒米・香り米: 「古代米」の品種・栽培・加工・利用』, 農山漁村文化協会, 2000年

**2050年油脂産業界展望**  
**リサイクルリンを栄養源した雑藻バイオ燃料生産の提案**

(第一工業製薬株式会社)    ○山本美伽

人類はエネルギー源の変更やその利用を拡大しながら大きな発展を遂げてきた。特に産業革命により経済の中心は農業から工業へ大きく変革し、これ以降人類は化石燃料を主たるエネルギー源とするようになった。しかし、このエネルギー源の大量使用による温室効果ガスの排出は、地球温暖化の原因となっている。我が国においても「2050年カーボンニュートラル」を掲げており、経済発展しながら、この目標を達成するために、様々な政策が実施されている。

本論文ではこれまで利用してきたエネルギー源、化石燃料からの脱却という点に着目している。自給率向上とカーボンニュートラルの両方を同時に達成する方法としてバイオ燃料生産とそのエサであるリン供給源について提案している。バイオ燃料源は複数あり、すでに穀物系は実用化されている。一方で、この穀物系のバイオ燃料はかねてより指摘されている食料価格高騰の危険性をはらんでおり、昨年発生した砂糖価格高騰の実例をもって示している。そのため非穀物系が注目されており、本論文では藻類を用いたバイオ燃料を提案している。

藻類を用いたバイオ燃料生産の課題は安定製造にあり、代表的な藻類「ボツリオコッカス」はその候補であるが、気温の影響を受ける点で、単一種では日本での生産には向いていない。このため寒暖差を乗り越えられる雑藻に着目した。

雑藻はリンをエサとするため、真の自給率向上はリンの自給率向上にある。リンは生産地が限られ、日本では全く産出しない。そのため、輸入し消費され再利用されていないリンのリサイクルが必要不可欠である。

本論文では、リサイクルの方法として下水処理の利用や鉄鋼スラグの利用、豚尿の利用を挙げており、輸入不要で国内自給可能なリン資源として示している。一方で課題は、施設の大きな協力が必要であり設備導入に高額のコストがかかる点、また、化石燃料と比較して価格が高い点である。

以上のように本論文では、エネルギー資源を持たない日本が自前でその自給率を向上させ、かつカーボンニュートラルへの貢献を同時に達成できるエネルギーとして、リサイクルリンを栄養源としたバイオ燃料生産を提案することで油脂産業界の新たな展望を示している。



## 2050年油脂産業界展望

### ワームオイル生産による環境調和型国内油脂安定供給システムの提案

(花王株式会社) ○齋藤明良、中井武史、杉山征輝

2050年に向けて、世界人口の増加とそれに伴う食糧需要の増大が予測される一方、気候変動に伴う作物生産量の減少が指摘されている。多くの原料を輸入に頼っている日本にとって、油脂作物が供給不足に陥るリスクに備えながら、脱炭素を前提とした持続的な油脂安定供給を可能にする産業への変革が必要である。そこで、既存の油糧作物に頼らない新たな油脂原料の獲得が必要と考え、ワームオイルの生産に着目した。

ワームオイルは油脂生産性の高さと油脂組成の多様性に特徴がある。例えば、ハチノスツヅリガ幼虫の育成面積当たりの油脂生産性はパーム油の100倍にも達し、燃料油や化成品に利用可能な幅広い組成の油脂を含有することが知られている。また、ワームは人間由来の廃棄物である食品残渣や糞尿を餌にして育てることが可能である。下水処理施設における下水汚泥は高いエネルギー密度を持ちながら、高含水の状態で焼却処分されているため多量のCO<sub>2</sub>を発生しているが、含水下水汚泥はそのままワームの飼料に利用できるため、下水汚泥と事業系食品廃棄物を安定的に回収するとともに、CO<sub>2</sub>の削減効果も期待できるワームオイル生産システムが構築できると考えた。

本提案ではワーム育成による国内油脂安定供給の社会実装可能性をマテリアルバランスの視点から定量的に検証した。種々の統計データから人口あたりの下水汚泥発生量と事業系食品廃棄物量を算出し、生産するワームオイル量に対する関係を推算した結果、化成品向けパーム核油の国内輸入量(7万 ton/y)、および食用油輸入量(149万 ton/y)に相当するワームオイルは、それぞれ266万人、7300万人から排出される人間由来の廃棄物エネルギーでワームを飼育することにより賄えると試算された。さらに本提案によるCO<sub>2</sub>の削減量を、下水汚泥や食品廃棄物の焼却回避による実質的CO<sub>2</sub>削減量と、本来調達していた植物油脂の輸入停止に伴う持ち込みCO<sub>2</sub>削減量の和として算出すると、合わせて3682万 ton/yとなり、2050年カーボンニュートラル目標の約2.6%のCO<sub>2</sub>排出相当量を削減できる可能性を見いだせた。

本提案の実現にはワーム育成やワームオイル利用の技術的課題に加え、多くの制度的・心理的課題を克服する必要があるが、かつて世界最大の養蚕国でありワームと共生する文化を有する日本にとってなじみ深い油脂産業になることを期待している。

2050年油脂産業界展望  
パーム廃材からのエメラルド水素製造システムによる  
カーボンネガティブなシン・油脂産業の提案

花王株式会社 ○高橋史員

欧州を中心にパーム油産業に対して環境への悪影響を指摘される事例が増えている一方で、パーム油は単位面積当たりの油脂生産性は非常に優れている。本論文ではパームの炭素固定能力の高さを生かし、CO<sub>2</sub>排出低減という世界でも最優先の課題に対して油脂産業が貢献できるモデルである「エメラルド水素製造システム」を提唱した。東南アジアのパーム園では大気中から固定化された炭素であるパーム廃材が温室効果ガスであるメタンの発生源や植物病原菌の発生源となるなど悪者となっている。このパーム廃材をメタン発酵源として活用し、メタン熱分解技術と組み合わせることで水素生産、炭素をカーボンブラックとして大気中から隔離するシステムを提案する。本提案の水素を、低 LCA 水素として定義されるグリーン水素、ターコイズ水素よりさらに環境適応したものとして緑色の宝石であるエメラルド水素、全体像をエメラルド水素製造システムと命名した。

本システムをマレーシアの全パーム園に導入した場合、マレーシア1国で年間1047万tものメタンを産生でき、この全量をメタン熱分解することでカーボンブラックを759万t、水素を228万t製造できると試算された。炭素削減効果としてはエメラルド水素システム適用により、パーム油1kgあたり約2kgのCO<sub>2</sub>削減効果に相当すると試算された。マレーシアのパームプランテーション企業報告書では1.55kg-CO<sub>2</sub>/kg-パーム油、と試算されており、カーボンネガティブなパーム油を製造できる可能性がある。またコスト試算から、エメラルド水素、カーボンブラックの製造固定費は10年償却で6.9円/kg、原料費は106円と推定された。また、水素製造費は\$1.97/kgと試算された。グリーン水素、カーボンブラックの市場価格帯を考慮すると事業として成立すると考えられる。

2050年にマレーシアだけでなくインドネシアにもエメラルド水素製造システムが広がれば、1億t以上のCO<sub>2</sub>削減効果が得られると考えられる。経済的観点では、炭素税だけでも1兆円を超えるビジネスになる可能性がある。そこで、本論文では2050年の油脂産業のあるべき姿として、「サステナブルなパーム油産業」だけではなく、エメラルド水素製造により他産業の基盤を支える環境適合性エネルギー、基幹原料供給、および大気からの炭素回収産業として、真の意味で「パーム全体を使いこなすパーム産業」へ再構築することを提案する。

## グラフェン-脂質膜の界面制御による機能発現

(国立大学法人大阪大学大学院) ○浅原時泰

本研究では、基板上に担持させたグラフェン (GP) を改質・修飾することで GP 上に生体分子親和性に優れたリン脂質ユニットを導入し、基板上 GP の界面制御を試みた。これにより、クライオ電子顕微鏡 (EM) によるタンパク質複合体解析の基盤技術を構築することを目的とした。

GP は化学的に安定であり、共有結合による官能基の導入が困難な材料である。これに対して我々のグループで独自に開発している二酸化塩素を用いた光酸化技術を用いることで基板上に固定化したグラフェンに対して高効率に酸素官能基を導入できることを明らかにしている。ここで導入された官能基を起点として、炭素鎖の異なる (C4~C12) 複数種のリン脂質ユニットの固定化を行ない、各種分析により物性比較を行なった。X 線光電子分光法 (XPS) による表面元素組成及び官能基分析によりリン脂質ユニットの導入が示唆された。この時、電解放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) による表面形態観察から、グラフェン膜の破れなどの損傷がほとんどないことも確認された。また、水の接触角測定による親水性評価では、酸化グラフェンに対して若干疎水性になる一方で、炭素鎖の長さの影響は小さくなく、リン脂質に由来する双性イオン部位や、リン脂質固定化のために用いているケイ素の存在が物性に大きく影響を与えることが明らかとなった。

次に、調製したグラフェン-リン脂質膜分子の応用として、タンパク質の担持を試みた。モデルタンパク質としてシャペロニンとして構造既知である Gro-EL を用い、クライオ EM 観察を行ったところ、リン脂質ユニット導入グラフェングリッドを用いた場合に観察可能なタンパク粒子の有意な増加と、粒子同士が連結する特異な現象が観察された。これは基板上の界面特性を制御することで担持分子に対する新たな機能発現が可能であることを示唆する結果であり、クライオ EM における機能化膜グリッドの有用性を示すものと言える。

## 食用油脂の酸化生成物であるエポキシ脂肪酸の吸収・動態解析

(国立大学法人福島大学)

○吉永和明

## 1. Introduction

近年、油脂の加熱や酸化によって不飽和脂肪酸の二重結合がエポキシ化された、エポキシ脂肪酸が食品中に含まれると報告され、エポキシ脂肪酸のヒトへの有害性が懸念されている。しかしながら、これらのエポキシ脂肪酸を食事として摂取した際、どのように体内に吸収されていくのかについては明らかとなっていない。そこで本研究では、植物油中に含まれる主要なエポキシ脂肪酸である *cis*-9,10-エポキシステアリン酸 (*cis*-ESA) および *trans*-9,10-エポキシステアリン酸 (*trans*-ESA) がどのように体内に吸収され、そして  $\beta$  酸化を受けるのかを評価した。

## 2. Experimental procedures

カルボキシル基上の炭素を  $^{13}\text{C}$  にて置換された  $1\text{-}^{13}\text{C}$ -オレイン酸(OA; コントロール)、 $1\text{-}^{13}\text{C}$ -*cis*-ESA、 $1\text{-}^{13}\text{C}$ -*trans*-ESA のエチルエステルを合成した。

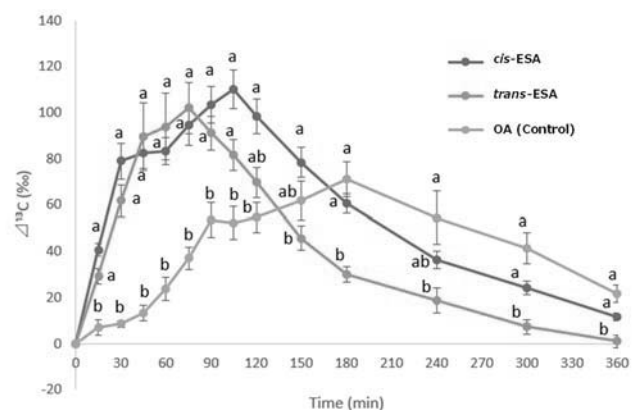
ICR マウス (4 週齢・雄・21 匹) を 3 群に分け、ゾンデを用いて試料乳剤を経口投与した。各脂肪酸の投与量は、 $16\ \mu\text{mol}/20\ \text{g}$  マウス体重とした。その後、経時的に呼気ガスを採集し、同位体比質量分析計 (IRMS) にて呼気  $\text{CO}_2$  中の  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比を測定した。

## 3. Results and discussion

図 1 に OA (コントロール)、*cis*-ESA、*trans*-ESA を投与した各群の呼気中の  $\Delta^{13}\text{C}$  値 (‰) の経時変化を示した。図より、コントロール群における  $\Delta^{13}\text{C}$  値は、投与後 180 分まで緩やかに増加した後、緩やかに減少した。*cis*-ESA 投与群の  $\Delta^{13}\text{C}$  値は、投与後 30 分まで急激に上昇し、105 分を境に減少した。同様に、*trans*-ESA 投与群の  $\Delta^{13}\text{C}$  値も、投与後 45 分まで急激に上昇し、90 分を境に減少した。エポキシ基の有無に着目すると、投与後 15 分から 105 分におけるエポキシ脂肪酸 (*cis*-ESA または *trans*-ESA) 投与群の  $\Delta^{13}\text{C}$  値は、コントロール群と比べ、有意に高い値を示した。その後、エポキシ脂肪酸投与群とコントロール群の  $\Delta^{13}\text{C}$  値は逆転し、180 分以降はコントロール群の  $\Delta^{13}\text{C}$  値が、エポキシ脂肪酸投与群よりも有意に高い値を示した。

以上より、エポキシ脂肪酸 (*cis*-ESA または *trans*-ESA) は、エポキシ基をもたないオレイン酸と比べ、早期に体内で  $\beta$  酸化を受けると考えられた。さらに、エポキシ脂肪酸の分子構造の違い (*trans* 型と *cis* 型) によっても、その体内動態が異なる可能性が示唆された。

エポキシ脂肪酸は胃酸によってオキシラン開環し、ジヒドロキシ脂肪酸に変換されることから、エポキシ脂肪酸の分解物を含めた検証が今後必要であると考えている。

図 1 マウス呼気ガス中  $\text{CO}_2$  の  $\Delta^{13}\text{C}$  (‰) 値

## $n-1$ 系多価不飽和脂肪酸の細胞内代謝機構および生理活性の解明

(学校法人関西大学) ○細見亮太

食用油脂に含有する多価不飽和脂肪酸 (PUFA) は主に  $n-9$ 、 $n-7$ 、 $n-6$  および  $n-3$  位に二重結合を有し、これらの PUFA の代謝機構・生理活性について多数の研究が行われている。一方、これら以外の位置に二重結合を有する脂肪酸も存在している。イワシ油には、 $n-1$  位に二重結合を有する 6,9,12,15-ヘキサデカテトラエン酸 ( $C16:4n-1$ , HDTA) を約 2~3% 含有する。我々はこの HDTA エチルエステル体をマウスに給餌した場合、HDTA は血液および主要な臓器にほとんど蓄積されない奇異な性質を示すことを確認している (*J Oleo Sci.* 2021)。しかし、HDTA の細胞内代謝機構については明らかにできていない。そこで本研究では、HDTA および 8,11,14,17-オクタデカテトラエン酸 ( $C18:4n-1$ , ODTA) を用い、脂質代謝の中心的な臓器である肝臓由来 HepG2 細胞における  $n-1$  系 PUFA の細胞内代謝機構の解明を目指した。

HDTA および ODTA 添加 24 時間後の培地中に HDTA および ODTA がそれぞれ確認できなかったため、両脂肪酸は 24 時間ですべて細胞内に取り込まれたと考えた。HDTA を添加した細胞中の脂肪酸分析を行ったところ、HDTA 代謝物と考えられる ODTA および  $C20:4n-1$  を同定した。細胞内に取り込まれた HDTA は ODTA、 $C20:4n-1$  へと鎖長延長を受けることが示唆された。細胞内脂肪酸組成の変化を経時的に評価したところ、細胞内に蓄積した HDTA およびこの代謝物濃度は、対照に用いたエイコサペンタエン酸代謝物濃度よりも非常に低かった。そのため細胞に取り込まれた  $C16:4n-1$  の一部は、細胞内で鎖長延長を受けるが、それ以外は、 $\beta$  酸化を受けた可能性があると考えた。脂肪酸  $\beta$  酸化関連遺伝子 (*Cpt-1a* および *Acox*) 発現量を解析したが、HDTA 添加によって変化は見られなかった。そのため、脂肪酸  $\beta$  酸化関連遺伝子の発現量を変化することなく、脂肪酸の酸化が行われたと考えた。

本研究から、肝細胞内における HDTA の代謝機構の一部を明らかにできたと考える。