



Sesame Newsletter

October 2018 No. 33

日本ゴマ科学会会長あいさつ	2
大会実行委員長あいさつ	3
第 33 回日本ゴマ科学会大会	
プログラム	4
講演要旨	6
総説	
ゴマのカルシウム成分について 田代亨	23
代謝酵素が広げるゴマリグナンの多様性 山本将之 他	32
報告	
第 1 回国産ゴマ生産地の現地検討会を終えて 吉田元信	37
本会記事	38

第33回日本ゴマ科学会
大会講演要旨掲載

日 本 ゴ マ 科 学 会
The Sesame Science Society of Japan

■セサミニュースレター第33号 目次

日本ゴマ科学会会長あいさつ	
第33回日本ゴマ科学会大会を開催するにあたって (吉田元信).....	2
大会実行委員長あいさつ	
第33回大会の開催に当たり思うこと (山野善正)	3
第33回日本ゴマ科学会大会プログラム	
講演会プログラム	4
会場案内.....	5
第33回日本ゴマ科学会大会 講演要旨	
講演1 健康教育・栄養教育とゴマ～ゴマの教材と しての可能性について～ (長島万弓)	6
講演2 ごま油の香気解析法の開発 (田村啓敏)	8
講演3 ごま油の加熱安定性と油酔いに関する評価 (瀬尾幹子他).....	12
講演4 胡麻は中国料理の潤滑油 (長坂松夫)	14
講演5 日本一の黒ごま産地を目指して! (芦田美智則).....	15
講演6 ブルキナファソにおけるゴマ生産支援 (土方野分).....	18
講演7 胡麻概況 (長谷川真).....	21
総説	
ゴマのカルシウム成分について (田代亨)	23
代謝酵素が広げるゴマリグナンの多様性 (山本将之他).....	32
報告	
第1回国産ゴマ生産地の現地検討会を終えて (吉田元信).....	37
本会記事.....	38

■会長あいさつ

第 33 回日本ゴマ科学会大会を開催するにあたって

日本ゴマ科学会

会長 吉田元信

此の度、第 33 回日本ゴマ科学会大会を、一般社団法人おいしさの科学研究所の山野善正理事長を実行委員長として、平成 30 年 10 月 27 日（土）リーガホテルゼスト高松で開催されることになりました。実行委員長の山野先生をはじめ、実行委員の川染先生、片山先生、井尻取締役執行役員、事務局のかどや製油株式会社の皆様方には、大変お世話になります。前回第 25 回大会平成 22 年 10 月 16 日（土）（ホテルニューフロンティア）以来、8 年ぶりの高松での開催となります。市民参加型の公開講演会として、非常に幅広い分野でご活躍の講師の先生方に講演をお願いします。教材としてのゴマについて長島教授に、ゴマの特徴的な香りについて田村教授に、ゴマ油の特性について瀬尾課長に、中国料理におけるゴマについて長坂代表取締役講演していただきます。ゴマの栽培面では、国産ゴマについて芦田組合長に、輸入ゴマについて土方専門家と長谷川部長にお話していただきます。参加者の皆様には、興味を持ってもらえる講演内容ですので、活発な質疑応答が展開されることを期待しております。また、ゴマ製品の展示ブースが設けられています。休憩時間の際には覗いて、ゴマ製品を通しての交流を行って下さい。

さて、昨年度総会で承認されました日本ゴマ科学会のホームページをリニューアルいたしました。会員の皆様には、是非一度ホームページにアクセスしていただき、その感想を学会事務局までお寄せ下さい。今後の参考にさせていただきます。また、平成 30 年 8 月 24 日（金）に第 1 回国産ゴマ生産地の現地検討会が駒ヶ根ごまプロジェクトの皆様方の御蔭で、長野県駒ヶ根市で開催されました。日本の農業が置かれている状況を考える時、今ほど国産ゴマ生産を活発に展開していく必要性を感じる時はありません。今後、日本ゴマ科学会の大会と共に、日本ゴマ科学会の車の両輪となり、発展していくことを期待しています。

Sesame Newsletter の学会誌としての面を強調できればと考え、昨年につくば大会の講演者の皆様に Sesame Newsletter への論文投稿を、初めてお願いしました。今後も、投稿依頼は続けていく予定です。御蔭で、総説 2 編を掲載できることになりました。会員の皆様には、これからも Sesame Newsletter を大いに盛り上げていくために、積極的な論文投稿をお願い致します。

■大会実行委員長あいさつ

第33回大会の開催に当たり思うこと

実行委員長 山野善正

人類の誕生は約700万年前、ホモサピエンスの誕生は約30万年前とほぼ確定されました。時間のことを考えれば、大きくは宇宙の誕生（138億年前：ビッグバン）、地球の誕生（46億年前）、同じく地球の消滅（50億年後？）があり、小さくは、微粒子の動きの極小時間まで、考えられます。そしてゴマの栽培の最初は約5000年前ナイル川流域であったのではないかと推測されています。

我々人間にとっての日常的な時間の経緯の中では、本学会の33年は、ちょうどイメージしやすい期間と言えます。一昔前では、人の年齢では33歳は壮年でしたが今では若者と言っても過言ではありません。本学会もますます隆盛期に入ると考えられます。33年前は、わが国の食品産業が隆盛期の中にあり、生産から流通の過程において変革が行われていた時期です。その中で、伝統的な食品素材であるゴマに対しその機能性が見直され、この学会が誕生したのです。今では産地なども広がり、世界各地で栽培されるようになりました。

今回は、一般公開の大会であり、ゴマに関する科学、調理から生産の状況までを広く取り上げ解説してもらう会にしました。特にその中でもアフリカのゴマ栽培の状況の話は興味を持ってお聞き願いたいと思います。

思えば、11回、25回大会も高松で開催いたしました。本当に時間の経過は早いもので、感慨深いものがあります。「継続は力なり」。改めて、歴代会長はじめ関係者のご尽力に敬意を表したいと思います。

ゴマの消費が減っていないのは、ゴマ成分の機能性のみでなく、世界文化遺産に登録された和食の価値の見直しの影響もあると思います。世界に誇れる政治や社会における我が国の「和」の思想に対応して、食の世界から、ゴマの食から、「和」の良さを発信したいものです。この33回大会がその一助になり学会の皆様の努力の稔となることを願っています。

第 33 回 日本ゴマ科学会大会プログラム

日 時	2018 年 10 月 27 日 (土) 12:10 ~ 17:00
場 所	リーガホテルゼスト高松 〒760-0025 香川県高松市古新町 9-1 TEL (087) 822-3555 (代)
日 程	11:00 ~ 12:00 評議員会 (3F 翡翠) 12:10 ~ 12:50 総 会 (3F ダイヤモンド) 13:00 ~ 17:00 講 演 会 (3F ダイヤモンド) 展 示 会 (3F ホワイエ) 17:10 ~ 19:00 懇 親 会 (3F 翡翠)
実行委員長	山野 善正 (一般社団法人おいしさの科学研究所)

■講演会プログラム

13:00	第 33 回大会実行委員長あいさつ 一般社団法人おいしさの科学研究所 理事長 山野善正
13:05	会長あいさつ 日本ゴマ科学会 会長 吉田元信
13:10	講演 1 「健康教育・栄養教育とゴマ ～ゴマの教材としての可能性について～」 中部大学 教授 長島万弓
13:40	講演 2 「ごま油の香気解析法の開発」 香川大学農学部 教授 田村啓敏
14:10	講演 3 「ごま油の加熱安定性と油酔いに関する評価」 かどや製油株式会社 研究開発課長 瀬尾幹子
≪休憩・展示会见学 14:40 ~ 15:00 ≫	
15:00	講演 4 「胡麻は中国料理の潤滑油」 麻布長江 代表取締役 長坂松夫
15:30	講演 5 「日本一の黒ごま産地を目指して！」 丹波黒ごま生産組合 組合長 芦田美智則
16:00	講演 6 「ブルキナファソにおけるゴマ生産支援」 JICA 土方野分
16:30	講演 7 「胡麻概況」 MC アグリアライアンス 胡麻・SVI 事業部長 長谷川 真

■会場案内



第 33 回 日本ゴマ科学大会 講演要旨

■ 講演 1

健康教育・栄養教育とゴマ ～ゴマの教材としての可能性について～

長島万弓（中部大学応用生物学部食品栄養科学科）

生活習慣と社会環境の変化に伴って生活習慣病患者が増加を続けるなか、第 4 次国民健康づくり対策にあたる健康日本 21（第 2 次）では、すべての国民が共に支え合い、健康で幸せに暮らせる社会を目指し、健康寿命の延伸と健康格差の縮小を最終目標に掲げている。その目標実現に向けての健康教育・栄養教育の重要性は高く、ここでは管理栄養士の行う栄養教育の現状を紹介するとともに、栄養教育の教材としてのゴマの可能性について考えてみたい。

1. ヘルスプロモーションの考え方¹⁾

ヘルスプロモーションとは、WHO（世界保健機関）が 1986 年のオタワ憲章（2005 年のバンコク憲章で一部追加）において提唱した新しい健康観に基づく 21 世紀の健康戦略で、「人々が自らの健康とその決定要因をコントロールし、改善することができるようにするプロセス」と定義されている。「すべての人びとがあらゆる生活舞台－労働・学習・余暇そして愛の場－で健康を享受することのできる公正な社会の創造」を健康づくり戦略の目標とし、個人の生活習慣改善のための教育的支援と、生活の場の改善や社会生活の質の改善を含む環境的支援（社会環境の整備）の両方向からのアプローチが進められている。

2. 健康教育・栄養教育を支える理論について

ヘルスプロモーションの考え方に則り、栄養科学、食品科学、行動科学、教育学など様々な分野の知識を基礎として栄養教育は実施される。中でも生活習慣の改善という対象者の行動変容を支援する基礎となる行動科学理論やモデルには、

- ・オペラント学習理論
- ・トランスセオレティカルモデル（行動変容段階モデル）
- ・ヘルスビリーフモデル（健康信念モデル）
- ・合理的行動理論 / 計画的行動理論
- ・社会的認知理論 / 社会的学習理論

などがある。例えば行動変容段階モデルでは、保健行動の変容を 1 つのプロセスにとらえ、その変容過程を 5 つのステージ（無関心期、関心期、準備期、実行期、維持期）に分類して、それぞれのステージにおける効果的なアプローチ方法を用いて、生活習慣改善へと導く。特定保健診査における検査値、問診から積極的支援や動機づけ支援が必要とされた対象者に対して管理栄養士は特定保健指導を実施するが、まずは対象者が自分の生活習慣に関心があるのかどうか、生活習慣を変える必要性を感じているのかどうか、生活習慣を変えようと思っているのかどうか等、5 つのステージのどの段階にあるのかを見極めることから始める。そして関心がなければ関心を持つような働きかけを、関心はあるが行動に移そうとしない人には行動することによるメリットを示して行動に導くなど、それぞれの段階におけるアプローチ法を使って行動変容へと導いていく。このような行動科学理論に基づく栄養教育の評価についても研究が進み、その実績が報告されている。

近年急速に発展してきている行動経済学の考え方も栄養教育に取り入れられているので簡単に紹介する。行動経済学において人の行動や意思決定は「直感的で感情的な思考」に基づくものと、「論理的で合理的な思考」に基づくものがあるとされており、人は「直感的で感情的な思考」に基づいて行動することが意外に多く、必ずしも合理的な行動をとるとは限らないという²⁾。健康行動を実践する（生活習慣を改善する）ために、これまでの行動科学理論は「論理的で合理的な思考」に働きかけて効果を上げてきたが、実はすべての対象者が理論通りに行動変容できるわけではない。それに対して「直感的で感情的な思考に」に着目する行動経済学で提唱される「ナッジ」は、「人々に強制することなく自ら意思決定して（選択して）望ましい行動に誘導するような仕組みまたはシグナル³⁾」と説明でき、直感的に健康行動を選択してしまうような環境整備に重点を置く考え方である。対象者の野菜摂取を増加させたい場合、教育的支援により「野菜にはどのような成分が含まれ、どのような機能があり、だから野菜を食べる必要がある」ということに気づかせ、行動変容に導くのが「論理的で合理的な思考」に基づく栄養教育である。一方の「ナッジ」を利用した方法では、ビュッフェ方式の食事において料理を並べる順番を工夫するだけで、野菜を多く選択させることができることを実証している⁴⁾。食物選択の自由度が増した状況下において健康を保持増進するためには頭で考えて食べる必要があると言われてきたが、考えなくても自然に健康に良い食物を選択できるような食環境を作り出すことは、ヘルスプロモーションの環境的支援の一つにあたるものであり、「ナッジ」のさらなる栄養教育への適用、発展が期待できる。

そのほかにも、プリシード・プロシードモデル、ソーシャル・マーケティング、イノベーション普及理論など、集団や社会の行動変容に関する理論も栄養教育に適用されている。

3. ゴマを題材にした栄養教育・食育活動とその効果について

これまでにゴマを教材、テーマとして次のような栄養教育・食育活動を実施してきた。

- ・ゴマの基礎知識に関する講義、講演
- ・ゴマの抗酸化性に関するペーパーサートや動画による栄養教育
- ・ゴマを用いた加工食品や料理を自ら作って食べる食育活動
- ・ゴマの継続摂取による食生活改善意識の向上に関する研究

これらの参加者からは、「ゴマのことについて知らないことが多かった」、「知ることが出来てよかった」、「もっとゴマを食べようと思った」、「こんな食べ方もできることがわかった」等の感想が得られ、ゴマの健康効果に対する認知は意外にも低いことがわかった。以前に実施したゴマ入り製品に関する意識調査においても、ゴマ入り製品を選ぶ理由は1位がおいしいからであり、健康に良いからと選ぶ人は2位で20%程度であった⁴⁾。ゴマを教材にした活動はさらに、「ゴマ以外にどんな食品に抗酸化性があるのか知りたい」という機能性食材への意識を向上させる効果や食生活全般を見直すきっかけにもなることも明らかになった。古くから食べ継がれ、おいしいと認識されているゴマだからこそ、健康効果を知ることでもっと食べたいと感じさせ、さらにはゴマに限らず他の食品にもいろいろな機能があることに気づき、食生活に取り入れていこうとする態度に繋がると考えられる。教材としてのゴマには、教育的支援においても、「ナッジ」としても、生活習慣の改善効果をもたらす可能性が期待できるのではないだろうか。

引用・参考文献

- 1) 日本ヘルスプロモーション学会 HP (<http://plaza.umin.ac.jp/~jshp-gakkai/intro.html>)
- 2) 川西諭, 図解よくわかる行動経済学, 秀和システム, (2010)
- 3) 武見ゆかり, 健康日本 21 (第2次) は「介入のはしご」を上れるか「社会環境の質の向上」を具体化するための議論を!, 日本健康教育学会誌, 21 (2), 11-114 (2013)
- 4) 渡邊晶子, 福田吉治, ビュッフェ方式において料理の順番が食の選択・摂取量に与える影響, 日本健康教育学会誌, 24 (1), 3-11 (2016)
- 5) 武田珠美, 長島万弓, 福田靖子, ゴマ入り製品中のゴマ量に関する消費者意識と現状, 日本調理科学会誌, 44 (4), 272-276 (2011)

■ 講演 2

ごま油の香気解析法の開発

田村啓敏（香川大学農学部）

1. はじめに

ごまは主要な油糧種子作物の1つである。ごま油には、原料油と焙煎油があり、焙煎したごまから種、沈殿物を濾過、製錬すると焙煎油ができる。焙煎油の特徴は濃い黄褐色のロースト風味である。この独特のごまの風味は、アジア料理、特に中国、韓国、日本において好まれている。香ばしく、卵焼き、焙煎ごまだれドレッシング、胡麻豆腐など、日本人の食卓には欠かすことができないものである。食を豊かにし、日本の食文化を代表する香りの1つである。

2. ごま油香気解析

ごま油の香り成分の研究は、ガスクロマトグラフ（GC）分析機器の進歩と共に、詳細に解析が進められ、50年以上の歴史がある。溶媒抽出法、水蒸気蒸留法、マイクロ固相抽出法、SAFE法など様々な手法が試みられた。同定成分については、1998年、中田らは、減圧水蒸気蒸留法とポラパックQカラム濃縮法を組み合わせて、147成分を同定した¹⁾。ピラジン類25成分、その他窒素含有芳香族化合物29成分、硫黄含有複素環化合物17成分、含酸素化合物10成分、エステル2成分、アルデヒド、ケトン21成分、アルコール・フェノール15成分などが検出された。

近年では、単に成分を同定することだけでなく、その特徴的な香気成分を決定することに重点が当てられ、GC/MSによる同定作業に加え、ガスクロマトグラフ分析と匂い嗅ぎ装置を組み合わせた**GC-Olfactometry**法が普及し、ごま油独特の風味成分までフレーバリストがいなくても、分析化学的に明らかにできるようになった。一例を挙げると、**1-(5-methyl-2-furanyl)-1-propanone, 3-formylthiophene, 2-propyl-4-methylthiazole, 2-ethyl-5-methylpyrazine**などであるが、GCカラムの出口を分岐させ、FID検出器と匂い嗅ぎポートに匂い成分を送り出し、成分同定と共に成分の匂いの特徴づけが数値化できるようになった。我々も、**GC-Olfactometry**法の1つとしてLod法を開発してきた^{2, 3)}。その他、SDE法とSPME法を組み合わせた分析法では、それぞれの匂い成分の抽出法の特徴を生かして、SDE法は高沸点物、SPMEは低沸点物の同定に活用された。Agyemangら⁴⁾は、エバポレーターと真空ポンプを組み合わせた**SAFE (solvent assisted flavor evaporation)**を活用し、揮発成分87成分以上、同定した。

3. 油脂中の香気解析の限界

前節で述べたように、ごま油の独特な匂い成分は、分析機器の進歩により、微量かつ、重なり合った成分でも、選択的な検出法の開発や高分解能の分離技術により、数多くの匂い成分が同定・定量することが可能になった。しかし、オリーブにしても、ごまにしても、チョコレートにしても、油脂含量の多い素材中にある匂い成分の分離には、溶媒抽出法は使いにくい。ペンタノージクロロメタン=7:3の混合溶媒⁵⁾は、香りの変化しやすい、不安定な匂いを抽出するのに適した溶媒であるが、この溶媒では、含有する油脂は除けない。少しの油脂は、カラムクロマトグラフィーなどの分離技術で除ける場合もあるが、大量の油脂と香気成分は極性が近いので、カラムにて分離することは、困難だと思われる。分子量はかなり異なるが、両方の分子極性は、近い。そこで、これまで、油脂の匂い成分の同定には、蒸留操作や真空ポンプを活用し、沸点の違いにより、匂い成分と油脂成分の分離を行った。水蒸気蒸留法、SAFE法などがそれである。それぞれの食品の匂いは、低沸点成分と中沸点成分、高沸点成分の3つのバランスにより成り立つことが多い。3つ

の物理特性の異なる匂い成分のバランスのズレは天然の匂いと異なるものにする可能性が高い。化粧品もトップノート、ミドルノート、ベースノートを上手くバランスよく混ぜ合わせる作業を行う。以上の点からすると、油脂成分中の匂い成分の分離・分析は、難しい課題だったとも言える。

4. 2 溶媒系による分配クロマトグラフィーの活用

溶媒の極性は、実は含まれる成分によって変わる。物理化学研究者にとって、エマルジョンなどでは混合系の物性の変化は普通のことと認識されるあるかもしれないが、匂い成分の抽出法の開発では、2液間の特性やメリットは明確ではない。2液間の物質の存在割合は、分配係数で表される。この分配係数は、生体では、物質、薬剤の腸管吸収を調べる基礎データとして利用される重要なパラメータである。

$$\text{一般式：} \quad \text{Log } P \Rightarrow \text{Log } P_{ow} \text{ (1-Octanol/Water)}$$

後者の値は薬剤が腸管吸収する割合を予測するために多用されている⁶⁾。1-octanolはアルコールの一種であるため極性官能基があるが、水に対する溶解度はかなり低く、これが腸管のリン脂質のモデルとして利用される理由の1つと考えられる。

この中に、油脂を含ませると実は、有機溶媒の極性はかなり変わる。有機相の脂溶性は強くなり、水の溶解度は低下する。すなわち、溶剤及び化合物のlog P値は表1に示したが、溶剤を何にするかにより、変動する。hexaneも nonanal や lemonene も Log P 値は概ね 3.5 前後だ。methanol のそれは -0.32 だから、匂い成分は hexane-methanol の 2 溶媒系の中で、hexane によく溶けることが予想される。一方油脂の1つである glycerol trioleate は Log P 値 = 23.0 と、かなり高く、hexane によく溶ける。ある一定以上 glycerol trioleate が含まれると、hexane 相の Log P 値は、3.66 ではなく、含まれる glycerol trioleate の割合に沿って、影響を受け、それ以上に高い値になる。その為、hexane 相に溶解していたフレーバー成分は、不溶性になり、methanol 相に移動する。このように、添加油脂成分により、有機化学成分（特に、ここでは精油成分）は、methanol 相に溶けやすくなる。この現象は食塩が水層に加えられると、塩析効果を利用し、有機相に溶けやすくなる、いわゆる salting-out effect に因んで、oiling out effect⁷⁾と呼ぶことにした。今後とも、この物性の変化はフレーバー科学に活用できると考える。

表 1. 溶剤及び化合物の log P 値

compound	Log p
glycerol trioleate	23.00
hexane	3.66
methyl hexanoate	2.31
δ -decalactone	3.21
nonanal	3.59
decanol	3.64
methanol	-0.32
limonene	3.62
linalool	3.21
α -farnesene	5.83
decanoic acid	4.03
acetic acid	-0.23
dimethyl trisulfide	1.84

表 2. ごま油の油分の 2 液相中の割合

	Hexane layer		Octane layer	
	Hexane	MeOH	Octane	MeOH
Ratio (%)	90.3%	9.7%	96.9%	3.1%

5. ごま香気の抽出

2 溶媒系を使って、ごま香気の油脂からの分離を **methanol-hexane** と **methanol-octane** で試みた (表 2)。オクタン層の油脂の残存率は 3.1% と低く、**hexane** よりも **octane** は、たくさんの油脂成分を回収できた。原理は、ロンドン分散力と呼ばれる分子間の力により、**hexane** に比べ、**octane** の方が油脂との分子間引力が強くなり、ごま油の油分が保持されやすくなる効果だと解釈される。油脂の添加も同じ効果があると考えられる。

一方で、匂い成分の回収については、Duo-Trio 試験にて、2 溶媒系のそれぞれの溶媒相の官能評価を行い、ごまの匂いが強い方を確認したところ、官能評価に参加したパネルメンバーが少ないものの、**methanol-hexane** 系では、8 名中 8 名がメタノール相にごまの香りを感じ、**methanol-octane** 系でも 8 名中 7 名のものが **methanol** 相にごま油の匂いを感じたと判定した。やはり、油脂を含む **octane** 相は、匂い成分を保持する力が弱くなり、匂い成分は **methanol** 相に押し出されたものと考えた。

また、金印純正ごま油を用い、本実験から得た **methanol** 画分、連続抽出法 (SDE) により得た 3 つの匂い抽出物について、定量的記述分析 (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) を行ったところ、図 1 のようになった。金印純正ごま油の匂い特性は、苦味や焦げ臭が弱く、甘み、まろやかさが強いことにあることは、QDA の数値から明確に分かる。比較抽出物は 2 つだけではあるが、本 **methanol** 抽出物は、非常に金印純正ごま油の匂いに近いことが分かる。ロースト臭のあるごま油臭には、熱処理を伴う SDE 抽出物が最適な抽出方法と考えていたが、我々の開発した溶媒抽出法は、さらにその方法を凌ぐ品質の高さを持つことがわかった。

結果一定量的記述分析法(QDA) レーダーチャート

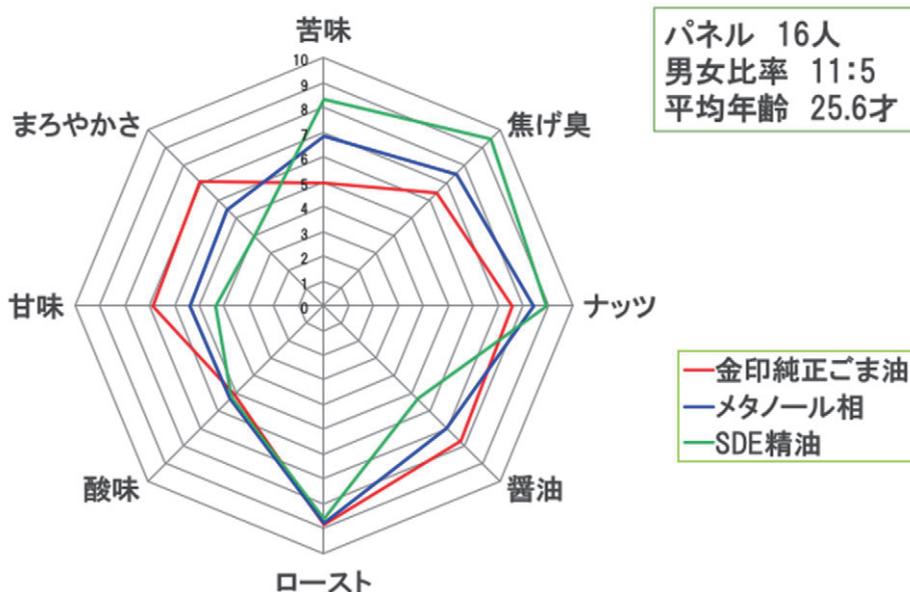


図 1. 定量的記述分析によるアロマプロファイル

6. ごま香気の GC/MS 分析

精油抽出のための **methanol** 画分は、**methanol** という極性の高い溶媒をもち、その留去には、沸点 (64.7 °C) まで、加温する必要がある。よって、溶媒を留去する時に、揮発性の成分を失いやすい欠点がある。また、**methanol** が極性溶媒であるため、不揮発性の成分の溶解度を高めるため、揮発成分に対しては不純物を含みやすくなる。この抽出物を直接 GC/MS 分析を行うことは、機器の管理上好ましくない。そこで、匂いの質の点では優れる **methanol** 画分は濃縮することなく、溶媒を変更し、その後濃縮を行い、高収率で匂い成分を濃縮することにした。今回同定できた主要成分は表 3 に示した。2-methylpyrazine 及び 2,5-dimethylthiazole にはナッツ様の特徴的な匂いがあり、これらは、ごま油の代表的な匂い成分だと考えられた。

7. 終わりに

新しい抽出法を中心に解説したが、まだまだ改良の余地があり、今後も従来困難であった精油の効率良い抽出法を最適化する条件を開発して行きたい。

表 3. ごま油の主要香気成分

化合物	保持指標	保持指標文献	におい
ethyl acetate	891	895	fruity
hexanal	1086	1089	grassy
2-methylpyrazine	1271	1267	nutty
4-octen-3-one	1303	1301	coconut fruity
2,5-dimethylthiazole	1326	1325	roasted nutty
2,5-dimethylpyrazine	1329	1331	nutty peanut, musty
2-ethyl-6-methylpyrazine	1390	1388	roasted potato
4,5-dimethylthiazole	1409	1408	fishy, amine
3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine	1449	1449	
3-methyl-1H-pyrrole	1569	1569	
1-(1-methyl-1H-pyrrol-2-yl)ethanone	1657	1657	
2,5-diethylthiophene	1857	1856	meaty

文献

- 1) Shimoda, M., Shiratsuchi, H., Nakada, Y., Wu, Y., Osajima, Y. *J. Agric. Food Chem.* **44**, 3909-3912. (1996)
- 2) Tamura H., Hata Y., Chida M. and Yamashita K. *ACS Symposium Series*, **988**, 229-242. (2008)
- 3) Tamura, H., Yang, R-H. and Sugisawa, H. *ACS Symposium Series*, **525**, 121-136. (1993)
- 4) Agyemang, D, Bardsley, K., Brown, S., Kraut, K., Psota-Kelty, L., Trinnaman, L. *J. Food Sci.*, **76**, C385-C391. (2011)
- 5) Sugisawa, H., Yang, R. H., Kawabata, C. and Tamura, H. *Agric. Biol. Chem.* **53**, 1721-1723. (1989)
- 6) Leeson, P.D., Springthorpe, B. *Nature Review. Drug Discovery*, **6**, 881-890. (2007)
- 7) Tamura, H., Ueno, S., Naka, A, Fukuzumi, A, Ho, S., Nattawadee, M., Sriwattana, S., Yonekura, L. Abstract, 252nd ACS National Meeting & Exposition, Philadelphia, PA, USA August 21-25, (2016), AGFD 22

■ 講演 3

ごま油の加熱安定性と油酔いに関する評価

○瀬尾幹子、笠井美希、中塚雄己、篠田綾子、山上英一郎（かどや製油株式会社）

1. 背景・目的

ごま油は、天ぷらなどの揚げ油、和食や中国料理、韓国料理などの炒め油、風味付けなどに用いられてきた。ごま油は酸化安定性、加熱安定性に強い食用油として、プロの料理人の方々からも高い評価を得ている。

ごま油は主な脂肪酸としてオレイン酸（37-49%）とリノール酸（35-47%）を含んでいる。また、脂溶性のビタミンとしてγ-トコフェロールを含んでいることに加えて、ゴマ特有の抗酸化成分の働きにより、油脂の酸化を抑えることに強く作用すると考えられてきた。

今回、焙煎ごま油と精製ごま油（以下、ごま油）の酸化安定性や加熱安定性ととも、調理中の油酔いといわれる不快感や調理した食品のおいしさについて評価することを目的とした。

2. 方法

(1) 加熱安定性とおいしさ

精製ごま油と他の食用油（大豆・なたね）を試験油として、エビフライを揚げ種とした連続フライ調理試験を行い、フライ油およびエビフライの評価を行った。

(2) 酸化安定性

ごま油と他の食用油（なたね）、ごま油と他の食用油を調合した試験油を調製し、CDM 試験による酸化安定性の評価を行った。

(3) 加熱安定性と油酔い

ごま油と他の食用油（なたね）、また、焙煎ごま油と精製ごま油を調合した試験油を調製し、ランシマットを用いて、強制的な試験条件下で加熱安定性と油臭の評価を行った。加熱安定性の指標として、各試験油の分析（酸価、過酸化物価、カルボニル価、アニシジン価、微量成分、トコフェロール含量、油臭）、脂肪酸組成等から評価を行った。また、加熱油臭の有無やどのような臭いかを調べるために官能評価や機器分析も行うこととした。

油酔いについて、原因物質といわれているアクロレインに着目した。ランシマットで各試験油を加熱通気して得られた気体を捕集、検知管でアクロレインの濃度測定を行った。

3. 結果

(1) エビフライ連続フライ調理試験において、精製ごま油は他の食用油と比べて過酸化物価、カルボニル価、アニシジン価の値が低値であり、加熱劣化の進行がゆるやかであると考えられた。官能評価の結果より、精製ごま油を使用したエビフライは食感やべたつきが少なく、冷めてもおいしいという評価であった。なお、フライ調理を実施した試験担当者の所見から、精製ごま油は他の食用油と比べて調理中に油酔い等の不快感が軽減される傾向がみられた。

(2) ごま油は他の食用油と比べて酸化安定性が良く、他の食用油はごま油と調合することで酸化安定性の向上につながることを示された。

(3) 強制的な加熱条件下で試験油を調整して、各種分析や評価試験を行った結果、なたね油よりも精製ごま油、精製ごま油よりも焙煎ごま油の加熱安定性が高く、焙煎ごま油を精製ごま油やなたね油に調合する割合が多くなるにしたがい、加熱安定性が高くなることを確認した。非加熱油に対して加熱油は、ご

ま油に含まれている抗酸化成分や γ -トコフェロールの含量が減退していることから、これらの成分がごま油やごま油を含む調合油の加熱安定性に貢献していることが考えられた。

アクロレイン濃度測定の結果、精製ごま油と焙煎ごま油のアクロレイン濃度は低値であったが、なたね油は高値を示した。また、なたね油に焙煎ごま油を調合した場合、焙煎ごま油を調合する割合が多くなるにしたがい、アクロレイン濃度は低値となった。既報では、リノレン酸が油酔いを引き起こすアクロレインの発生原因といわれており、ごま油はリノレン酸含量が少ないことから、他の食用油と比べて調理中に油酔いをしにくいと考えられた。

各加熱試験油の油臭について、官能評価や機器分析を行った結果、油臭の強さとアクロレイン濃度測定結果には相関がみられなかった。このことから、ごま油を加熱した際の油臭はごま油の主な脂肪酸であるリノール酸やオレイン酸に由来するものと考えられた。しかし、焙煎ごま油と精製ごま油の脂肪酸組成はほぼ同じであるのに対し、焙煎ごま油と精製ごま油それぞれになたね油を調合した場合の加熱油臭の特徴や強さは異なるものであった。精製ごま油となたね油を調合した油の加熱油臭はいわゆる甘く香ばしいようなフライ香（ディープフライフレーバー）であり、精製ごま油の割合が多くなるほど油臭は弱く、軽いことから調理中の不快感が軽減されると推察した。焙煎ごま油になたね油を調合した加熱油臭は強く、重かった。また、それぞれの油の固有臭が目立つ傾向にあり、調理方法によって調理中の不快感が生じやすいことが考えられた。

以上のことから、ごま油は酸化安定性、加熱安定性に優れた油であり、油酔いしにくい特性であることを確認した。また、調理中の加熱油臭を軽減し、快適に調理するためには精製ごま油と焙煎ごま油を調理方法によって使い分けることが望ましいと考えられた。ごま油の特性を活かすことで、各種フライや炒めもの等の加熱調理を快適に、おいしく調理できる油として役立つものと考えている。

■ 講演 4

胡麻は中国料理の潤滑油

○長坂松夫（有限会社麻布長江）

「ゴマを服すれば身を軽くして老いず」

この古来から語られている言葉こそ、中国料理の原点「医食同源」そのものである。

中国料理を語る時、大雑把にいうと四大流派に分けられる。北京、上海、四川、広東各料理と味は北咸、東酸、西辣、南淡で表現される。食は気候風土と、特に水と共に発展してきたと言って良い。

30年ほど前、中国食物事典の著者である田中静一先生とお会いした時に、先生に「中国料理をひと言で表すとしたら…」という質問をした折、先生はウーンと腕組みをして、少ししてから長坂さん「中国料理は食におけるマスターキー」といっても良いかもとお話しになりました。

地球上、どのような地域へ赴いても、中国料理の調理技法を組み合わせればたちどころに美味料理が出来る。

食べる事に対する食欲さと願望、そして研究と実行がその民族の食のレベルを高める。と、同時に食の発展は平和と共に地球規模の繋がりをみせる。

食材、調理技法のみならず、料理人たちの交流によって、更に新しい食が誕生している。

ゴマに目を向ければ、日本にはシルクロードを經由し、中国西域からもたらされ、長い長い年月をかけて料理にゴマを使用することから、更にゴマプリンやゴマアイス、ゴマシャーベット等々へと変化を遂げている。

同時にゴマの健康使用法にもスポットが当てられ、消費の増大と共に更なる発展が期待されている。

中国の諺の「良薬は口に旨し」という言葉通りに、ゴマの美味なる料理とゴマの健康食品が人々の口福と健康を担っている。

■ 講演 5

日本一の黒ごま産地を目指して！

芦田美智則（丹波黒ごま生産組合）

1 生産組織

平成 26 年 3 月 20 日生産者組織『丹波黒ごま生産組合』を新たに設立して栽培に取り組んでおります。

2 組合員数（平成 30 年 4 月現在）

組合員総数 69（内訳 個人生産者 66 名、生産組合等 3 団体）

3 黒ごまの栽培の基本方針

農薬・化学肥料を一切使用しない栽培方法を採用

大阪のごまの老舗「株式会社 和田萬」との契約栽培（全量出荷）。

4 黒ごま栽培への取組み

平成 16 年 11 月に旧氷上郡 6 町（氷上町、柏原町、青垣町、春日町、山南町、市島町）が丹波市として合併したことを機に、初代市長から「丹波市の新たな顔となるような特産物が欲しい」との意向を受けて、新たな特産物を育てようと氷上町の有志が健康志向で注目を浴びている『ごま』に着目し、栽培を開始して今年で 13 年目を迎え、ようやく、丹波市のブランド農産物の一翼を担う産地となり、丹波市は高品質の黒ごま産地として広く認知されるようになっていきます。

ごまは、国内需要の 99.9% が輸入される中、丹波産黒ごまは、昼夜の温度差が大きいなどの恵まれた地理的、自然的条件の下で栽培されていることから非常に品質が高く、黒ごまの中でもビロード色をした黒ごまが生産できたことから、契約先の株式会社 和田萬からは、貴重な黒ごまなので出荷量をさらに拡大してほしいとのうれしい要請を受けております。

組合員の高齢化が避けられないことから、今後さらに新規栽培者の確保（30 年度新規栽培者 7 名）や機械化等による省力化を推進し、栽培面積の拡大を図り、需要に応えられる生産量の確保に努めていくこととしております。

5 栽培面積

H 30 年度：7.5ha

H 29 年度：7.8ha H 28 年度：6.1ha H 27 年度：6.6ha H 26 年度：8.6ha

6 出荷量

H30 年産目標 5t 以上

H 29 年度：4.5t H 28 年度：2.9t H 27 年度：2.6t H 26 年度：2.2t

平成 26 年に丹波市を襲った丹波豪雨により甚大な被害を受け、出荷量の激減による生産意欲が低下、その後、出荷量は増えているが、まだまだ、需要に応えられる出荷量には至っていない。

7 生産組合の取り組み経過等

平成 18 年に設立された生産組織を発展的解消して、平成 26 年に新たに黒ごま生産組合を組織し、兵庫

県認証食品（ひょうご安心ブランド農産物）の認証を受けるなど、新たな取組みをスタートさせました。

栽培者数、栽培面積の拡大、高品質の黒ごま生産をめざして、新規栽培希望者説明会、栽培講習会や栽培ほ場の全筆巡回指導などを通じて、栽培管理技術の向上を図ると共に、国の環境保全型農業直接支払交付金事業（H 27～31年度）にも取り組んでいます。

また、先進地調査では、農商工連携による「ごまプロジェクト」を立ち上げ、黒ごまの産地化、機械化、特産品化に取り組んでいる国内ごま産地（長野県駒ヶ根市）を多くの組合員（大型バス1台）で視察し、当地域の省力化などの先進事例を参考に丹波でも省力化などを推進しています。

平成28年度には、貴重な「丹波黒ごま」を使ったスイーツ（和洋菓子）などの新たなアイテムとしても利用して頂けるよう、パティシエなどにも積極的に情報発信し、丹波市内の直売所等での黒ごま販売、市内菓子製造者によるスイーツ等の新商品開発（平成28年5月新商品発表会開催）などを、県丹波農業改良普及センターと連携して実施し、現在、市内6社の店舗等で販売が行われています。

平成29年10月には、日本を代表するパティシエ・ショコラティエである辻口博啓氏により丹波黒ごまを素材とするチョコレートがロンドンで開催された世界大会「インターナショナルチョコレートアワード2017」で最高賞の金賞を受賞し、現在、受賞作品は、銀座、渋谷で販売されています。

さらに、栽培面積の拡大に向けて課題となる作業を組合員アンケートで把握し、その課題解決に向けて、従来の慣行作業体系（手作業による播種）に比べ、効率的、的確な播種作業が実施できる省力化播種作業（畝立て、播種、マルチの3作業を同時に実施）のアタッチメントを導入し、地元JA出資法人の(株)アグリサポートたんばに作業委託するなど、省力化機械播種の拡大、また、収穫の機械化（水稻収穫用バインダーを改造）して、収穫作業の省力化を推進するとともに、選別作業の省力化を図るため、色彩選別機の導入に向けた検討を進めています。

平成30年度は、「黒ごま生産の仲間を増やそう！！」「10tの生産量をめざそう！！」をスローガンに掲げ、組合員の確保、新規栽培者のサポート体制、栽培管理の徹底による安定した生産量の確保など丹波市のブランド農産物の一翼を担う特産物として一層のブランド力強化に取り組んでいます。

《 組合員 100 名 × 1 組合員の栽培面積 10a × 反収 100 kg ⇒ 10t 》

☆丹波黒ごま生産組合の活動の一端が紹介されているサイト。

http://magocoro.tamba.sc/kurogoma_mushi/

丹波市の農林業の今をお伝えするニュースサイト

丹（まごころ）の里

農・森・人 Now

「丹（まごころ）の里」活性化推進協議会
丹波市・丹波ひかみ農業協同組合・丹波県民局



サイト内を「黒ごま」で検索すると複数の取組みが紹介されています。



「農薬・化学肥料を一切使用しない栽培方式を展開中、
『丹波黒ごま』の生産・出荷作業の流れ

(H 26. 11. 5 認証)
(H 29. 11. 1 更新)



発酵牛糞たい肥散布



発酵鶏糞・有機石灰を散布して耕起



は種直前の耕起



は種 (ごんべい)



は種 (畦立・は種・マルチ同時作業)



順調に生育している黒ごま



黒ごまの花



害虫のスズメガ (ごま虫 / 手で捕殺)



全栽培ほ場を巡回指導



成熟した黒ごま



収穫作業 (手作業)



機械収穫作業 (バインダー)



つり下げて通風乾燥



上から見た状態



数日単位で黒ごまを集める



天日で仕上げ乾燥



唐箕で選別 (5~6回) を
行い出荷する



出荷された黒ごまを農家毎出荷袋毎
に唐箕で再度選別して6段階に格付



農家別・6規格別に袋詰め



兵庫県認証食品認証書 (写)
を添付して出荷



大阪天神橋にある (株) 和田萬が黒ごまを全量
引き取り、八尾工場に搬入して「洗いごま・煎
りごま・すりごま・ペースト等に加工」



栽培講習会 (年1回) の受講を規約で義務付けており未受講
者の黒ごまは集荷しないこととしている普及センターから栽
培管理技術の指導を受ける



■ 講演 6

ブルキナファソにおけるゴマ生産支援

土方野分 (JICA ゴマ生産支援プロジェクト 元 JICA 専門家)

1. はじめに

日本の貿易統計によると、昨年 2017 年の日本のゴマ輸入取引額は 1 位ブルキナファソ、2 位ナイジェリア、3 位タンザニア、4 位ミャンマーと、上位 3 か国がアフリカで占められていた。さて、1 位のブルキナファソという国のこと、ご存知だろうか。

ブルキナファソ国はサハラ砂漠以南のサブサヘル地域に位置する内陸国で、南はコートジボアールやガーナ、北はマリのサハラ砂漠に接している。国民の約 80% が小規模の家族経営型農家ともいわれ、国連開発計画による人間開発指数 (2016 年) は 188 か国中 185 位、一人当たりの国民総所得 (GNI) は約 640 米ドルであり、最貧国のひとつである。当国の輸出額は、金、綿花、ゴマ、シアバターと、上位 4 品目のうち金を除く 3 品目が農産物であり、ゴマはこの国を潤す重要な産品となっている。このゴマ輸出額のうち 50% が中国、12% がシンガポールと日本であり、日本は第 3 位の取引国に位置する経済的にも重要なパートナーである。我々日本人の多くは、この聞いたこともないアフリカの貧しい内陸国産のゴマを食卓で消費しており、知らず知らずのうちにブルキナファソ農家の現金収入を支えている。

このような両国の関係をより強化するため、独立行政法人国際協力機構 (以下、JICA) はブルキナファソ国政府の要請を受け、2012 年よりゴマ輸出増加を念頭にゴマ生産農家支援の模索を始めた。その成果により 2014 年から 5 年間のゴマ農家支援プロジェクトを現地農業省と採択し、現在もゴマの生産技術開発、技術普及、流通・輸出支援を行っている。私は、このプロジェクト採択後の 2015 年～2018 年にブルキナファソに JICA 専門家として長期駐在し、現地の国立農業環境研究機関 (以下、INERA) と農業省種子検査室 (以下、SNS) と共に、現地での技術開発に携わった。昨年 2017 年ゴマ学会では道山氏らが本プロジェクトの採択準備からプロジェクト初期期間の報告をしているが、本発表はその続編に相当する。

2. 品種開発支援

ブルキナファソでは政府が普及する奨励品種は 1 品種のみで、1980 年前後にインドから持ち込まれたものであった。この品種は種皮が白く、早生 (90 日サイクル)、現地での農家平均収量が 450 kg/ha といわれ、含油率も高いことから、栽培しやすく搾油用に適していたが、その普及率は 20-40% 程度と言われていた。その一方で、年間降水量が 300mm から 1000mm と幅広い気候帯を持つ当国においては各気候帯に適した複数品種の選択肢が必要で、特に INERA や現地生産者団体から新たな高収量品種の要望が強かった。また、日本のゴマ産業界の一部からもブルキナファソ産のゴマは搾油用として良い品質だが苦みが強いという声もあり、将来の市場開拓に向けた新たな選択肢として苦みの少ないゴマの開発が求められていた。そこでプロジェクトでは現地のニーズを踏まえた高収量の搾油用品種と、将来のオプションとして苦みの少ない食用品種の開発にとりくんだ。

ブルキナファソ国内の各ゴマ産地より約 80 株のゴマ個体を分離し、そのうち形質が安定していた 40 種を固定品種として INERA 品種として登録した。さらにその中から、蒴果が多くつき、倒伏や病気に強い、極早生～中早生 (80 - 100 日サイクル) の品種を約 10 品種選び、ブルキナファソの全国 4 か所の農家圃場にて参加型選抜を実施した。この選抜は品種が比較展示された圃場で、農家自身が好きな品種に投票し集計結果を品種選抜に反映する方法である。これと同時に圃場では収量、倒伏耐性や病害耐性などの客観的な農学的評価を実施し、品種登録データとした。これにより新品種の各地域での適性を評価し、さらに新

品種と栽培技術の農家への普及を促す効果を期待した。この方法は国際農林水産業研究センター（JIRCAS）と国際熱帯農業研究所（IITA）がブルキナファソでササゲの品種登録と種子普及に使用し実績のあった方法であり、ゴマの品種選抜と種子普及に応用したのは世界で初の試みとなった。含油率や食味は、現地での客観的な判定が技術的に難しかったため、含油率を日本食品分析センター（一財）および、食味試験をおいしさの科学研究所（一社）に分析を依頼し評価した。

その結果、①農家嗜好性が高く含油率 56% で高収量の白ゴマ品種、②農家嗜好性が高く苦み少なく香りのよい白ゴマ品種、を見出した。このうち①の品種は農家圃場においても既存奨励品種よりも 1.3 倍の収量が見込めた。本品種は試験中からも INERA 研究者、農業省 SNS 技術職員、生産者団体からの期待が高かったため、現地語で PAKRE SAAYA（problem is over の意）と命名し、品種登録申請を行った。

3. 種子生産支援

ブルキナファソでは、種子法により奨励品種の種子は認定農家のみが生産でき、農業省 SNS の検査に合格した種子のみを認証種子として一般農家に販売することができる。これまでに JICA はこの認証種子普及支援の実績があったが、認証種子を作るための種子、すなわち原種種子が、既に異品種の混ざりがあることが指摘されていた。私が着任した 2015 年の時点で、この問題はゴマの原種種子にも生じていた。プロジェクトでは現地研究者らとともに原種種子を栽培する INERA の圃場で生産技官と労働者を対象に技術指導を行った。技術指導を行った生産圃場では、原種種子の純度を現地種子法の定める基準以内で生産できるようになった。

この国での慢性的な財政難により、INERA では若手技術者や研究者の育成と確保が困難で、種子生産圃場の整備・維持管理にもなお課題があり、継続的な支援が望まれる。

4. 栽培技術開発

2015 年にゴマ農家の栽培実態調査を行った。その結果、ゴマ農家半数の 50% が 8 月以降に播種し、肥料の使用率 17%、認証種子の使用率 25% であり、平均収量は 140 kg/ha と世界平均よりも低かった。2017 年の道山氏の報告の通り、道山氏らによる基礎研究と予備調査により 7 月播種と施肥により増収が期待できたため、プロジェクトでは INERA 研究者らとともに、播種日と施肥の検討を、農家圃場で周辺農家に見える形で試験した。その結果、播種時期が収量に大きな影響を及ぼすことが分かり、現地でも 7 月播種は 8 月播種に比べて約 1.5 ～ 2.0 倍収量上がるということが分かった。プロジェクトが推奨する認証種子の使用、7 月播種、施肥、を实践した農家圃場では平均で 535 kg/ha の収量があった。また参加型選抜、展示栽培試験、技術研修を実施した地域周辺での農家アンケート調査では、2015 年の調査時に一般農家平均収量が 140kg/ha だったのに対し、2016 年に 202 kg/ha、2017 年は 322kg/ha と、年々収量があがり、普及事業の成果が見て取れた。

5. 残留農薬問題と農薬検討

残念ながら 2014 年以降に日本の検疫所においてブルキナファソ産ゴマの一部から基準値以上の残留農薬が検出された違反事例が数件あり、港戻りしたゴマがあった。この事実をうけブルキナファソ政府は対策方法を講じゴマ輸出規格制度を成立させ、輸出業者の登録と輸出時の検査が定められた。その一方で、近年のゴマ栽培面積の拡大により病害虫が萬栄しており、効果のある防除方法が確立されていなかった。安定的な収穫と収穫物の安全を保障するためにも、効果があり正しい農薬使用方法の開発が急務であり、農薬の正しい管理も含めた技術普及が現在でも大きな課題となっている。そこでプロジェクトでは病害虫防除に効果的な農薬散布方法の検証を実施し、病害虫の発生地域でも防除効果を発揮する方法を見出した。現在もプロジェクトは続いており、この新しい農薬使用方法や栽培技術を普及する研修が農家向けに実施され、また、流通

業者向けの残留農薬・カビ毒対策の啓蒙も実施されている。

日本はゴマを安く海外より輸入しているが、日本の安全基準を生産国に求め残留農薬やカビ毒などの対策を相手国に要請している現状がある。近年 JICA はパラグアイにて現地政府とともにゴマの残留農薬問題対策支援に携わり、大きな成果を上げている。このような貿易の障害を、もとは日本国の税金である ODA 予算で技術支援することは相手国の経済発展のみならず日本の消費者にとっても意義あるものと考えられる。今後もこのような win-win の技術支援経験が蓄積され、各国へ横展開されることを期待する。

■ 講演 7

胡麻概況

長谷川真（株式会社 MC アグリアライアンス）

1. 世界のゴマ需給

アフリカのサバンナ地帯で生まれ、乾燥に強く、健康的効能に優れたゴマは、アジアを中心に様々な国で広く親しまれている。在ドイツの調査会社 Oil World に依ると世界のゴマ生産量は、2017 年に 5.39 百万トに達しており、2010 年の 4.32 百万トから約 1.07 百万ト増加、年平均増加率は 2.8% に達する。生産国はアジア 3 ヶ国（ミャンマー、中国、インド）、アフリカ 4 ヶ国（ナイジェリア、スーダン、タンザニア、エチオピア）に集中しており、上記 7 カ国で全体の約 71% を占める。然しながら、アジア 3 ヶ国の生産量は 2010 年の 2.35 百万トから 2017 年の 1.98 百万トに漸減、対してアフリカ 4 ヶ国は 0.89 百万トから、1.85 百万トまで増加している。割合では、アジア 3 ヶ国が 2010 年の 54% から 2017 年の 37% まで減少、アフリカ 4 ヶ国は 20% から 34% まで増加している。アジア諸国の経済成長発展に伴い、労働集約型農業の典型であるゴマの主要生産地に変化が起きている。

輸出货量に於いても、上記 7 カ国が約 66% を占めており、限られた地域でゴマ供給を下支えしていることがわかる。

輸入国は、ゴマ油・煎り・練りゴマ等伝統的にゴマを使用する中国が全世界の 42% を占める。同様に伝統的にゴマを多用する日本が 8%、タヒーニ（練りゴマ）やスミット（パン）等に使用するトルコが約 8%、ハンバーガー等に多用する欧州が約 7% と続く。

ゴマの特徴

- アフリカのサバンナで生まれた乾燥に強い単年作物
- 労働集約的な手収穫に頼る為、主要生産国は途上国
- 食用・油用としてアジア・中東中心に需要拡大傾向
- 栄養面に優れ、米国等先進国でも需要は拡大傾向
- 先物相場がなく、ノンデリ等のリスクが高い
- 零細農家による栽培が殆どで、トレーサビリティ・品質の確保が困難
- グレードは主に食品用(白ゴマ、黒ゴマ、金ゴマ)、搾油用(ミックsgoマ)に大別



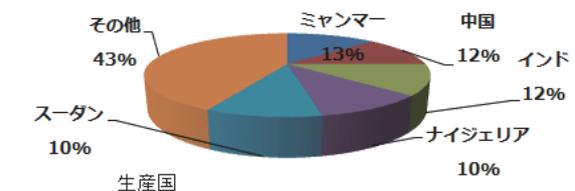
ゴマ栽培・物流イメージ図



ゴマの加工工程

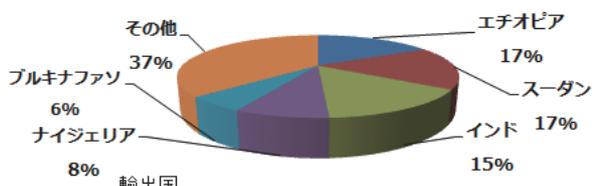


生産国(Oil World)2018



労働集約的な手収穫に頼る為、主要生産国は発展途上国

輸出国

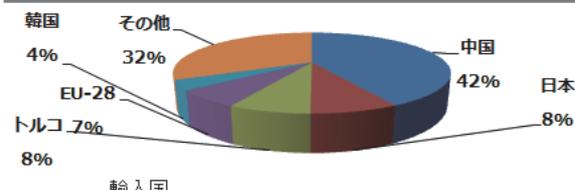


主要輸出国はインド・アフリカ諸国

輸出国	輸出品 (千ト)	割合 (%)
エチオピア	345	17%
スーダン	340	17%
インド	300	15%
ナイジェリア	170	8%
ブルキナファソ	115	6%
その他	739	37%
合計	2,009	100%

単位: 千ト

輸入国



・主要輸入国は東アジア、中東諸国
 ・中国・中東諸国を中心に需要は拡大傾向

輸入国	輸入品 (千ト)	割合 (%)
中国	840	42%
日本	160	8%
トルコ	150	8%
EU-28	131	7%
韓国	78	4%
その他	636	32%
合計	1,995	100%

単位: 千ト

2. 日本のゴマ市場

日本は計 25 カ国から約 16 万ト輸入しており、その内約 10 万ト弱が搾油用途、残りの 6 万トが煎りゴマ、練りゴマ等の食品用途で使用される。搾油用途は油分含有量の高いアフリカからの輸入が中心で、食品用途は品質や風味等の観点から中南米に依存する。

然しながら、南米の経済発展に伴い労働集約型農業離れが起きていることや、アフリカ諸国の量的・質的向上等を背景に、2009 年にアフリカ 52%、中南米に 36% 依存していた輸入数量は、2017 年にはアフリカ 72%、中南米は 13% と変遷しており、アフリカへの依存度が高まってきている。

3. ゴマ市場の今後

健康意識の高まり等に伴い、世界的にゴマの需要増加が予想される中、いち早い安心・安全・安定な原料供給体制の構築が期待されており、実現には既存産地の量的・質的向上及び産地の多角化が肝要である。既存主要生産地に於いては、既にサプライヤーを中心に農業指導、ファイナンス等の農家サポートや各種設備投資等、ソフト・ハードの双方で積極的に経営資源を投入しており、安心・安全・安定を担保すべく更なる改善に向け取り組んでいる。また、ゴマ生産地の多角化には、労働集約型農業による生産だけではなく、機械収穫による大規模農業の実現が必要不可欠である。既に農業先進国の米国では機械収穫ゴマの商業化が進んでおり、一定の成果を挙げており、今後の展開が期待される。

ゴマのカルシウム成分について

田代亨

はじめに

スーダンのナイル川流域サバンナ植生帯で発祥したゴマは、そこを起点として横すべりし熱帯地域へ伝播した熱帯型ゴマと、北上して温帯地域へ伝播した温帯型ゴマとに分化した¹⁾。ゴマは変異性に富み、そのうえ環境適応能力が大きい植物である。長年にわたる伝播過程で生育地の環境条件に適応した栽培種が産み出され、赤道を中心に南北45緯度範囲内の熱帯から冷温帯にかけて広く栽培されている。厳密な意味で品種として呼ばれるものは少なく、大部分は地方特産種である²⁾。

1. ゴマの化学成分

ゴマは油糧種子と言われるように種子重量の約50%を脂質が占め、タンパク質と炭水化物がそれぞれ約20%と約18%である。さらに無機成分が豊富であり、とくにカルシウムを多量に含有する(第1表)³⁾。また、栄養学的評価はされていないが、微量成分としてリグナン系物質を1.0~1.5%も含む。これらの成分の含量は品種が具備する特性によるが、気候・土壌条件や肥料条件などの栽培環境によっても左右される⁴⁾。

第1表. ゴマの一般成分³⁾

	ゴマ	ラッカセイ ^{a)}	エゴマ	ダイズ ^{b)}	コムギ ^{c)}	コメ ^{d)}	トウモロコシ ^{e)}	
エネルギー(kcal)	578	562	544	422	337	353	350	
水分(g)	4.7	6	5.6	12.4	12.5	14.9	14.5	
タンパク質(g)	19.8	25.4	17.7	33.8	10.6	6.8	8.6	
脂質(g)	51.9	47.5	43.4	19.7	3.1	2.7	5.0	
炭水化物(g)	18.4	18.8	29.4	29.5	72.2	74.3	70.6	
灰分(g)	5.2	2.3	3.9	4.7	1.6	1.2	1.3	
無機質	ナトリウム(mg)	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	3.0
	カリウム(mg)	400	740	590	1900	470	230	290
	カルシウム(mg)	1200	50	390	180	26	9	5
	マグネシウム(mg)	370	170	230	220	80	110	75
	リン(mg)	540	380	550	490	350	290	270
	鉄(mg)	9.6	1.6	16.4	6.8	3.2	2.1	1.9
	亜鉛(mg)	5.5	2.3	3.8	3.1	2.6	1.8	1.7
	銅(mg)	1.66	0.59	1.93	1.07	0.35	0.27	0.18
	マンガン(mg)	2.24	1.56	3.09	2.51	3.9	2.06	-
	セレン(μ g)	10	20	3	5	-	3	6

- a) 大粒種
- b) 国産黄大豆
- c) 国産普通
- d) 水稻玄米
- e) 黄色種

2. 種子の構造

ゴマ種子は、種皮、内乳、胚からなる有胚乳種子で、胚が大半を満たす（第1図、第2図⁵⁾）。種皮は珠心と珠皮から発達し、その最外部の表皮がよく発達して種皮の大部分を占める。種皮表皮の細胞内にはシュウ酸カルシウムの結晶が集積する⁶⁾。内乳は3～4細胞層からなり、胚を内包する。胚は幼根、胚軸、子葉に分かれ、子葉は対をなして胚軸の上端に付く（第2図）⁵⁾。内乳と子葉は脂肪粒とタンパク質粒で満たされている（第3図）⁴⁾。

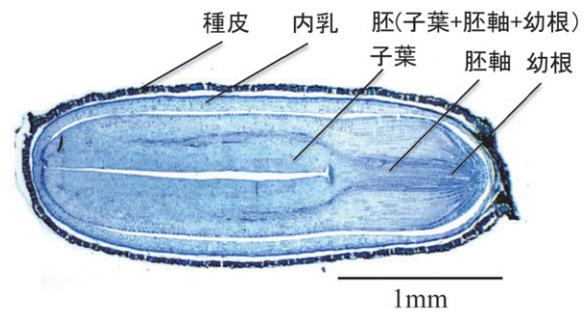


第1図. 白ゴマ種子の外観
上側：腹面、下側：背面 褐色の筋は維管束

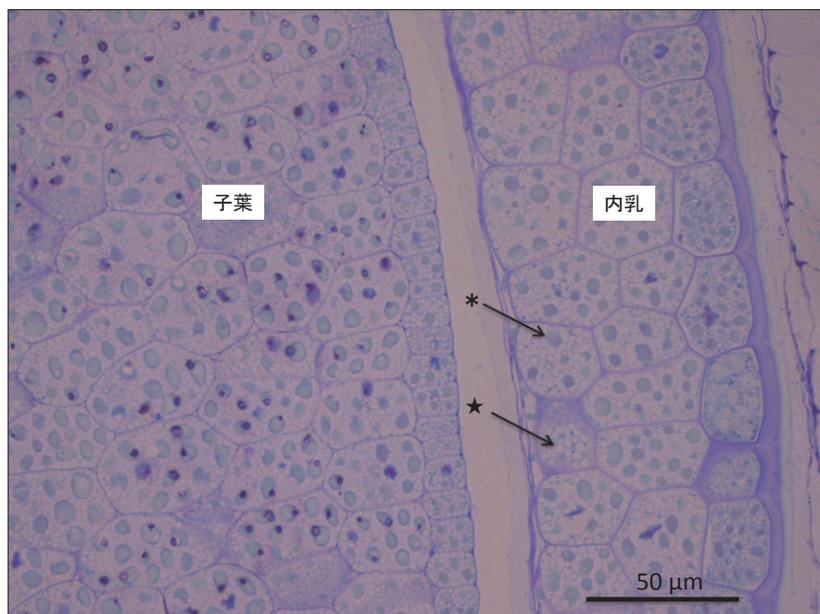
3. 種皮表皮細胞内へのシュウ酸カルシウム結晶の形成

固定・包埋した試料切片をスライドガラスに載せ、5% 酢酸液で30分間処理する。水で洗浄後、5% 硝酸銀水溶液で15分染色する。黒褐色に染色された結晶がシュウ酸カルシウムと同定できる⁷⁾。

黒ゴマ種子では、受精後10日目に外表皮細胞の垂直壁下部に二次肥厚が始まり、受精後14日目に内腔下端の液胞内にシュウ酸カルシウム結晶が形成された（第4図）。一方、白ゴマ種子では細胞壁で二次肥厚が起こらず、受精後20日目に内腔上端に



第2図. ゴマ種子の縦断切片⁵⁾



第3図. 白ゴマ種子の樹脂切片
★：脂肪粒 *：タンパク質粒

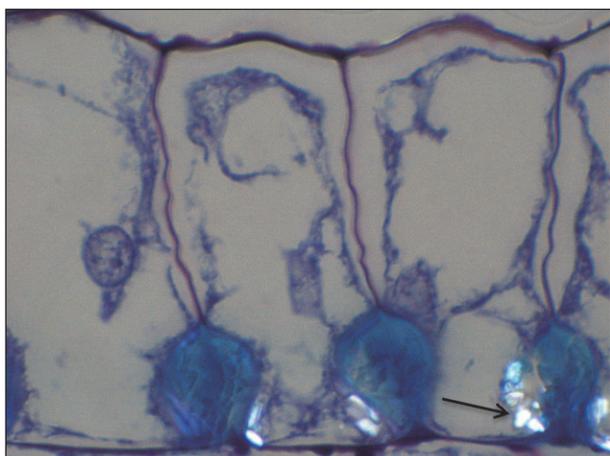
シュウ酸カルシウム結晶が僅かに形成された（第5図）。両種ともシュウ酸カルシウム結晶は、種子の発育にともない肥大した⁸⁾。

溶剤への溶解度により細胞内カルシウム結晶の種類（シュウ酸カルシウム、炭酸カルシウム、リン酸カルシウム）が判定できる。シュウ酸カルシウムは希塩酸、希硫酸、希硝酸により溶解する。一方炭酸カルシウムとリン酸カルシウムは希酢酸により溶解するが、シュウ酸カルシウムは溶解しない⁹⁾。

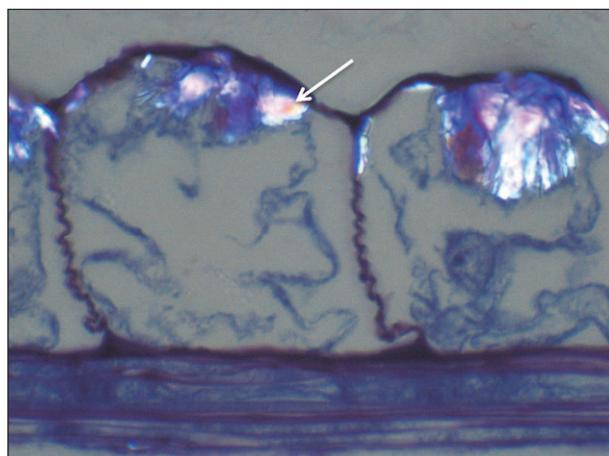
種皮表皮の結晶を低真空走査顕微鏡（ESEM）で

観察し、併せてエネルギー分散型検出器を搭載したX線微量分析装置（EDX）を用いて元素分析することで、結晶の種類が判定できる。シュウ酸カルシウムや炭酸カルシウム結晶はカルシウムのシグナルが検出され、リン酸カルシウム結晶はカルシウムとリンのシグナルが検出される。

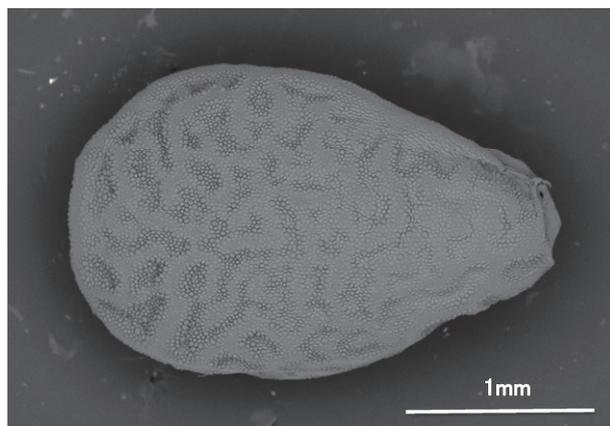
受精後7日目の白ゴマ種子の種皮表皮は、多角形のドーム状構造の細胞からなり、網目状に分布する凸部位とそれに囲まれた凹部位とに分かれた（第6図、第7図）。凸部位の外表皮細胞細胞には、受精



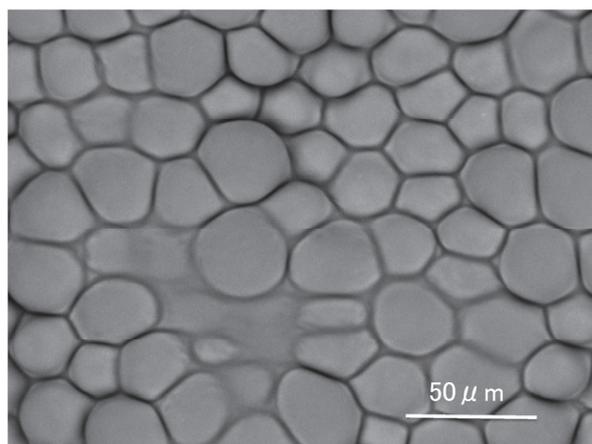
第4図. 黒ゴマ種子の種皮表皮細胞内へのシュウ酸カルシウム結晶形成（受精後14日目）⁸⁾
→：内腔下端の液胞内に結晶形成



第5図. 白ゴマ種子の種皮表皮細胞内へのシュウ酸カルシウム結晶形成（受精後20日目）⁸⁾
→：内腔上端の液胞内に結晶形成



第6図. 受精後7日目の白ゴマ種子の外観



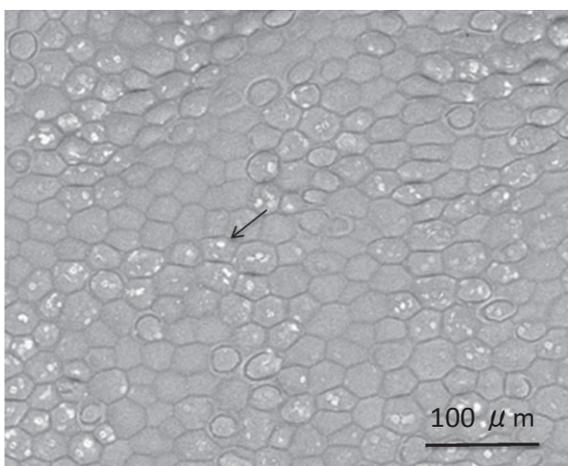
第7図. 受精後7日目の白ゴマ種子の表面構造
第6図の一部拡大像

後 21 日目から顆粒が観察され始め、発育とともに次第にその頻度と大きさを増した。ESEM による顆粒画像は EDX 分析によるカルシウムマッピング画像と一致した (第 8 図、第 9 図)。シュウ酸カルシウム結晶の形成形態やその集積量は、系統により多様に変異した¹⁰⁾。

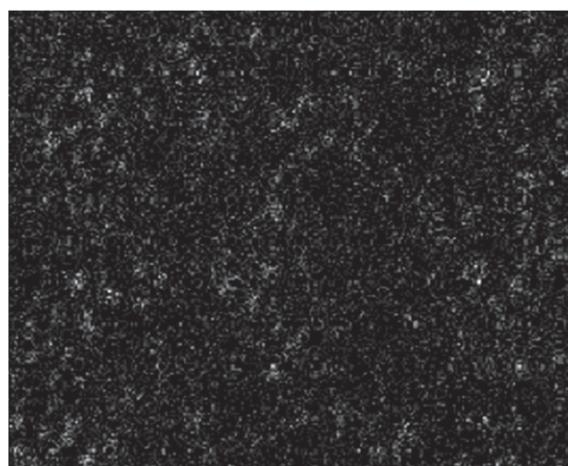
カルシウムは細胞壁や液胞に存在している。細胞膜にはカルシウムイオンを能動的に取り込む機構はない。細胞外液から細胞内に拡散によって侵入するカルシウムイオンは細胞膜の排出機構によって常に細胞外に排出されると共に、一部は液胞膜に存在する「Ca²⁺/H⁺ 対向輸送体」によって液胞に貯め込ま

れる。これらの機能により、細胞質のカルシウムイオン濃度は 0.1 μM 程度の低濃度に保たれ、細胞の恒常性が維持されている^{11, 12)}。

光や重力などの刺激により細胞質のカルシウムイオン濃度が上昇すると、カルシウムイオンは細胞質内の代謝活動で生じた有機酸を中和無毒化し、難溶性カルシウム化合物の形で細胞質内の液胞に貯めることやペクチン質多糖鎖を架橋してペクチンをゲル化させ細胞壁に固定化させることなど、生育を最適に整える重要な役割を果たす。ゴマに多く含まれるシュウ酸カルシウムはこの有機酸を中和した産物である^{11, 12)}。

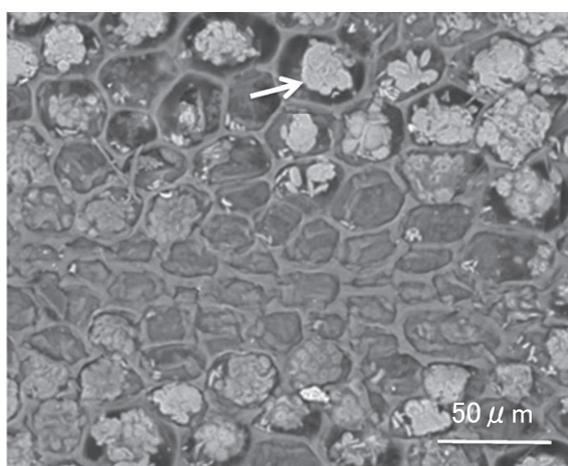


ESEM画像

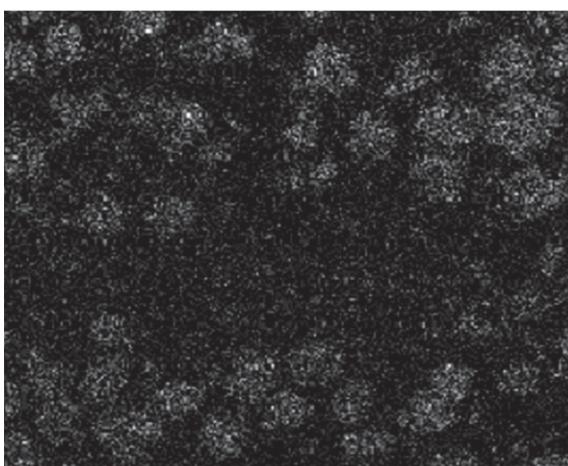


Caマッピング像

第 8 図. EDX 面分析による白ゴマ種子のカルシウムの検出 (受精後 21 日目)
→: 白点状の部位はシュウ酸カルシウム結晶を示す。



ESEM画像



Caマッピング像

第 9 図. EDX 面分析による白ゴマ種子のカルシウムの検出 (完熟粒)
→: シュウ酸カルシウム結晶

4. 種子の発育に伴うカルシウム含量の変動

種子を湿式分解し、ICP 発光分光分析を行うことでカルシウムの含量を測定できる。

白ゴマ種子の乾物粒重は受精後 14 日目から 28 日目にかけて急激に増加し、以後暫増し 42 日目に最大に達し、含水率は 14 日目から 35 日目にかけて急減し、42 日目から再び暫減した (第 10 図)。種子のカルシウムの含有量は受精後 28 日目まで増加し、それ以降は暫増した (第 11 図)¹³⁾。

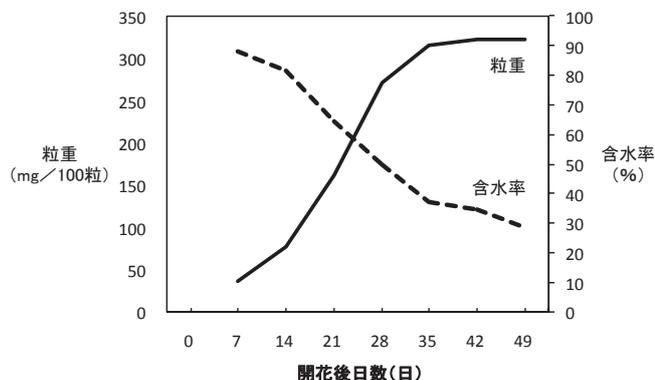
種子の発育に伴う無機成分の蓄積経過は、早期に低下する型 (早期低下型) と後期まで続く型 (後期継続型)、及び両者の中間 (中間型) の 3 型に大別さ

れる。カルシウムは、鉄や亜鉛とともに後期継続型を示した。なお、早期低下型にはカリウムや銅が、中間型にはリンやマグネシウムがそれぞれ属した¹³⁾。

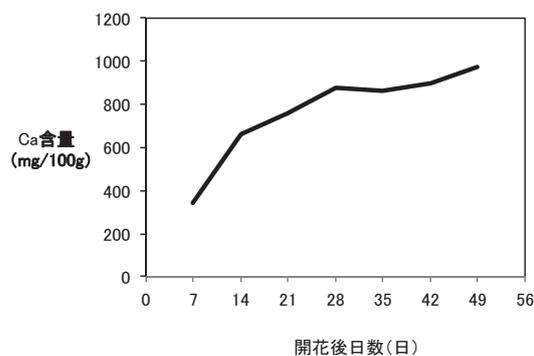
5. カルシウム含量の種子組織別局在性

鋭利なピンセットを用いて種子から種皮を剥離し、さらに内乳と胚とに分離できる。

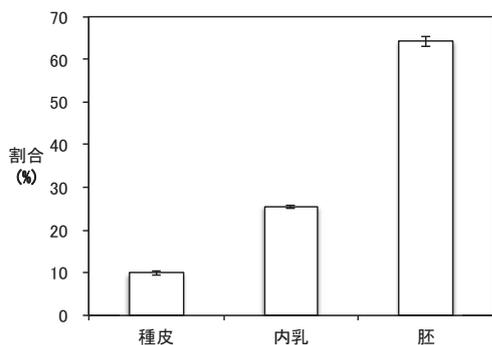
白ゴマ種子を組織する部位別の重量割合は、種皮が 10.8% であり、内乳は種皮の 2.4 倍であった。胚は種皮の 5.7 倍と種子の過半を占めた (第 12 図)。カルシウムは種皮に 2804.0mg/100g と極めて多量に存在し、内胚と胚における含量は種皮のそれぞれ 16.7% と 1.2% であった (第 13 図)¹⁴⁾。



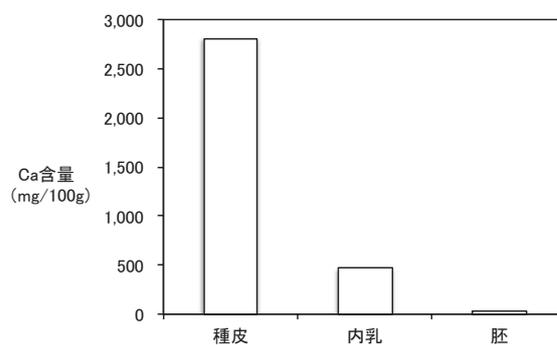
第 10 図. 白ゴマ種子の発育に伴う粒重と含水率の変化



第 11 図. 白ゴマ種子の発育に伴うカルシウム含量の変化



第 12 図. 白ゴマ種子の組織別割合
エラーバーは標準誤差を示す。



第 13 図. 白ゴマ種子の組織別カルシウム含量

6. カルシウム含量の遺伝的変異

温帯性および熱帯性の系統を含む栽培種 50 系統のカルシウム含量の平均値は 1037.6mg/100g であり、変動係数は 32% と高く、大幅に変動した。カルシウム含量の最も高い系統は熱帯性黒ゴマの 1745.0mg/100g であり、最も低い系統は温帯性金ゴマの 346.8mg/100g であった。種皮色別にカルシウム含量を比較すると、黒ゴマ系統が最も高く、茶ゴマ系統と白ゴマ系統とが続き、金ゴマ系統が最も低かった。黒ゴマ系統、茶ゴマ系統、白ゴマ系統の 3 系統間には有意差が認められなかったが、3 系統と金ゴマ系統とは有意な差異が存在した(第 14 図)。変動係数は、黒ゴマ系統が 17%、白ゴマ系統が 29% であり、茶ゴマ系統と金ゴマ系統は 49% と高かった。

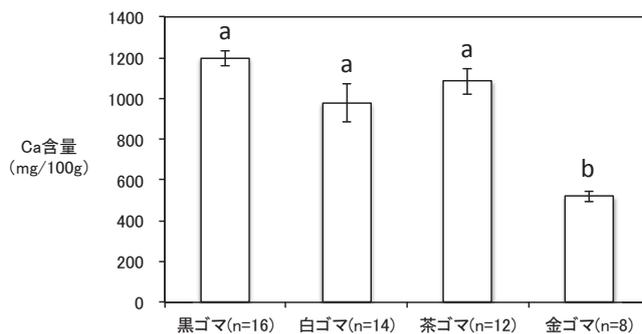
熱帯性系統を除いた黒ゴマ系統と白ゴマ系統と金ゴマ系統で、種皮割合とカルシウム含量との関係と比較した。両者の関係は、黒ゴマ系統と白ゴマ系統では有意に高い正の相関関係が存在したが、金ゴマ系統では相関関係が認められなかった(第 15 図)¹⁵⁾。

野生種の *S. shinzianum* と *S. radiatum* のカルシウム含量は、それぞれ 296.9mg/100g と 604.7mg/100g であり、栽培種に比べて著しく低かった¹⁵⁾。

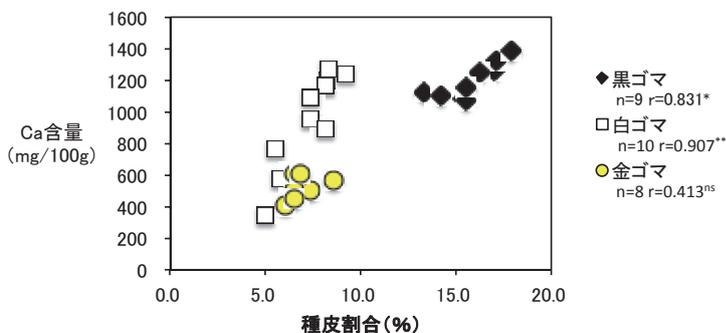
7. カルシウム含量の栽培環境変異

作物の栽培設計は、作物の収量と生産者の収益の向上を目的としているが、作物の化学組成にも影響を与え作物由来の食品に反映される。食品品質の高位・安定化と多様化を促進するためにも、作物生産における適切な栽培管理が重要である。

同一圃場から、登熟時期を異にする白ゴマ個体群(1区、2区、3区、4区、5区)を適期に収穫し、各区の収量と種子のカルシウム含量を測定し、登熟期の気温と日射量との関係を求めた。種子のカルシウム含量は収量と負の相関関係が存在した(第 16 図)。高収量と高カルシウム含量が得られた登熟環境(平均気温、平均日射量)は、それぞれ 27.4°C、147.7W/m² と 23.3°C、127.9W/m² であった(第 17 図、第 18 図)。ゴマの種子生産において多収を得る気象条件が必ずしも種子のカルシウム含量に良い影響を及ぼすとは限らない。両者はしばしば逆の



第 14 図. 種皮色によるカルシウム含量の差異
異なるアルファベット間に Tukey-Kramer 検定で 1% 水の有意差があることを示す。エラーバーは標準誤差を示す。



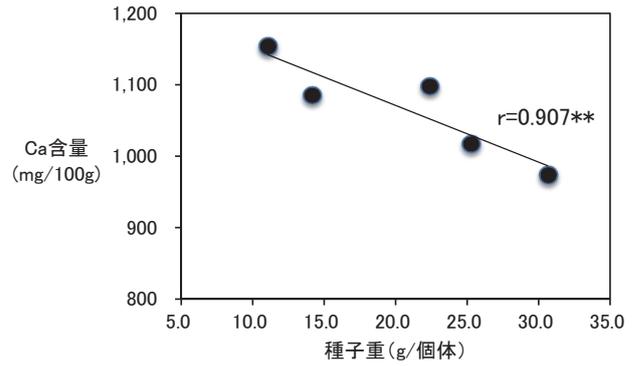
第 15 図. 種皮割合と種子のカルシウム含量との関係

関係にさえある。

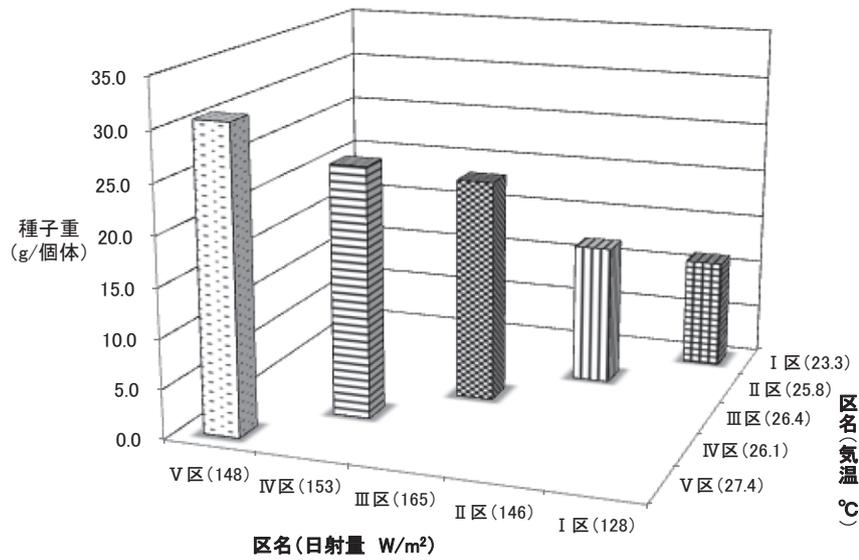
作物の根によるカルシウム吸収は、根端と側根の着生部位などに限られる。吸収速度は外界のカルシウム濃度に依存し、外界のカルシウム濃度が低い場合には吸収速度も低い。これはカルシウムの吸収が拡散や蒸散によって生じるマスマフローに依存し、受動的に吸収されるためである。蒸散が抑制される条件(暗所、高湿度)ではカルシウムの吸収は低下する。また、カルシウムイオンは主に導管を通して体内を移動するため、いったん吸収され葉に分配されたカルシウムは最上位葉や地下部にはほとんど再転流しない。このため、登熟中の種子など蒸散が少なく、しかも細胞が急激に成長する部位にはカルシウムが不足しやすい^{11, 12)}。

日本の土壌は降水量が蒸発量を上回るために酸性土壌が多く、土壌の酸性矯正のために炭酸カルシウ

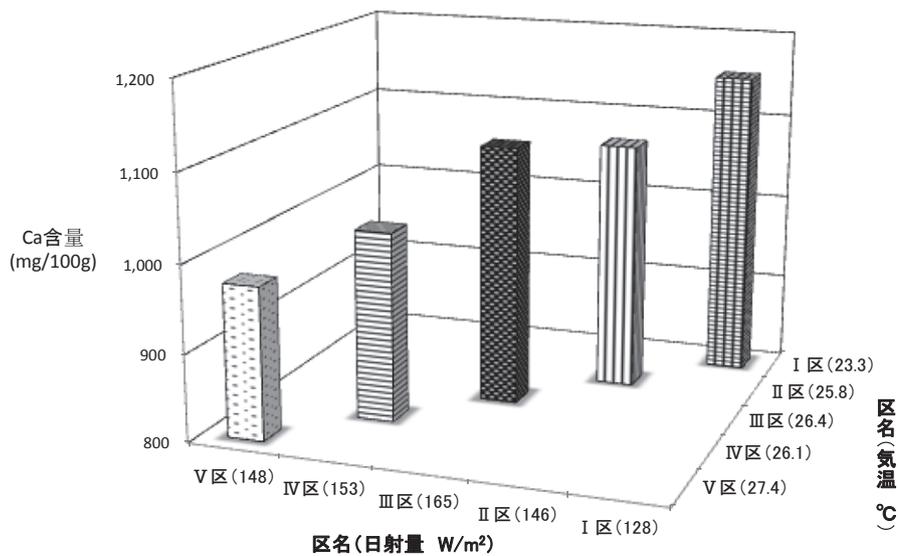
ムや苦土石灰などの石灰資材を作物栽培前に施用する。一般に土壌中のカルシウム含量が作物の生産力に影響を及ぼすことは少ない。しかし、好天気によって土壌水分が低下すると、根からのカルシウム吸収は低下する。また、過剰な堆肥の施用でカリウムイオンやアンモニウムイオンが過剰に存在する土壌条件下では、根からのカルシウム吸収に阻害が起きる^{11, 12)}。



第 16 図. 収量と白ゴマ種子のカルシウム含量との関係



第 17 図. 登熟気象条件と白ゴマの収量との関係



第 18 図. 登熟気象条件と白ゴマ種子のカルシウム含量との関係

8. カルシウムの利用

ゴマ種子は、100 g 当たり 1,200mg を超えるカルシウムを含有する。ゴマはカルシウムの供給源と考えられているが、カルシウムの半量ほどはシュウ酸と結合してシュウ酸カルシウムの結晶となり種皮に局在する(第2表)¹⁶⁾。シュウ酸カルシウムは、シュウ酸の pKa (酸解離定数) が 1.27 及び 4.27 であることから、胃酸環境下の pH 1.5~2.0 では完全に解離せず¹⁷⁾、ゴマはカルシウム供給源となりにくいと考えられている^{18, 19)}。

シュウ酸を分解する菌が反芻動物、草食動物のみならずヒトの腸管からも発見された^{20, 21)}。実験動物やヒトにはシュウ酸を分解する腸内細菌が存在し、この菌の作用により一部のシュウ酸は分解され、シュウ酸と結合していたカルシウムは大腸から吸収されるようである。ラットを用いたゴマのカルシウムの利用効率は 65% とされている²²⁾。

第2表. ゴマ種子中のカルシウムの分布*)

(単位: mg/100g)			
ゴマ種子	全Ca	CaC ₂ O ₄ ・H ₂ O中のCa	有効Ca ^{a)}
洗いゴマ種子	1,210	636	574(47.3)
いりゴマ種子	1,220	577	643(52.7)
むぎゴマ種子	62	23	39(62.9)

*) 石井・滝山 (2000)¹⁶⁾ 表1 から抜粋・一部改変。

a) 全 Ca からシュウ酸カルシウム (CaC₂O₄・H₂O) 中の Ca を差し引いた。消化されやすい Ca と推定される。() 内の数字は割合を示す。

おわりに

前述したように、種皮表皮細胞内でのシュウ酸カルシウム結晶の形成はゴマ属が具備する特性であるが、その存在形態や集積量は遺伝的に変異するとともに、栽培環境条件により変異した。

種皮表皮細胞内に局在するシュウ酸カルシウム結晶は、貯蔵物質とも分泌物質とも、また排泄物質とも考えられている。ゴマ種子を食品に利用する場合、シュウ酸カルシウムに由来する“にがみ”のために種皮を取り除いたむぎゴマとしての使用が最近増えているが、種皮を除くことにより他のミネラルやビタミン類も減少し、香りも消失するなど問題も多い。カルシウムに関わるゴマの商品開発に当たっては、ゴマ素材の特徴を加味して進めることが一計である

う。また、目指すゴマ商品の特徵に適した素材を地域と連携して適地適作・適期適作するなどの取り組みも必要であろう。

引用文献

- 1) 小林貞作 1986. 絹の道よりはるかに遠いゴマの道. ゴマの来た道. 岩波新書, 東京. 21-48.
- 2) 小林貞作 1989. ゴマの栽培植物学. 並木満夫・小林貞作編, ゴマの科学. 朝倉書店, 東京. 1-41.
- 3) 文部省科学技術・学術審査会 資源調査分科会編 2017. 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) 追補 2017年. 大蔵省印刷局, 東京.
- 4) 田代 亨 1998. ゴマ種子の品種と化学成分. 並木満夫編, ゴマ その科学と機能性. 丸善プラネット, 東京. 230-243.
- 5) 西野栄正 2015. 種子の構造. 並木満夫・福田靖子・田代 亨編, ゴマの機能と科学. 朝倉書店, 東京. 17-21.
- 6) Weiss, E. A. 1971. General characteristics of the plant. Caster, Sesame and Safflower. Leonard Hill, London. 356-391.
- 7) Yasue, T. 1969. Histochemical identification of calcium oxalate. Acta Histochem. Cytochem. 2:83-95.
- 8) 西野栄正・永田夏美・王 玲玲・田代 亨 2013. 種皮色の異なるゴマ種子の種皮構造と発達. 日本植物学会第 77 回大会 2013 年 9 月 15 日 北海道大学高等教育推進機構.
- 9) 長倉三郎・井口洋夫・江沢 洋・岩村 秀・佐藤文隆・久保亮五編集 1998. 岩波理化学事典 第 5 版. 岩波書店, 東京.
- 10) 田代 亨・大井崇生・今井 勝・西野栄正 2016. ゴマ種子の発育に伴う表面構造とカルシウム蓄積の変化. 第 241 回日本作物学会講演会要旨集: 118
- 11) 稲永醇二 2006. 植物の成育と栄養システム (5) カルシウム (Ca). 森 敏・前 忠彦・米山忠克編, 植物栄養学. 文永堂, 東京. 143-148.
- 12) 間藤 徹 2010. 植物の必須元素, 栄養元素. 4. カルシウムとマグネシウム. 間藤 徹・馬 建鋒・藤原 徹編, 植物栄養学 第 2 版. 文永堂, 東京. 123-129.

- 13) 田代 亨・鈴木貴之・今井 勝 2005. ゴマ種子の成長にともなう無機成分の変化. 日作紀 74 (別号 1) : 60-61.
- 14) 田代 亨・鈴木貴之・井上 恵 2004. ゴマ種子の無機成分の局在性について. 日作紀 73 (別号 1) : 110-111.
- 15) 田代 亨・今井 勝 2009. ゴマ属遺伝資源の無機成分含量の変異. 日作紀 78 (別号 1) : 192-193.
- 16) 石井裕子・滝山一善 2000. ゴマ種子中のカルシウムの分布. 日調科誌 33 : 372-376.
- 17) 塩田萌慧・田代 亨・勝崎裕隆・三島 隆 2017. ゴマに含まれる Ca の存在形態の解明. Sesame Newsletter 32 : 30.
- 18) 岩尾裕之 1954. 生体におけるカルシウム利用に関する研究 (第 2-1) 蔞酸並に蔞酸塩のカルシウム利用妨害 (其の一). 蔞酸量とカルシウム利用妨害. 栄養学雑誌 11 : 152-165.
- 19) 菅原龍幸 1993. ミネラル成分. 高宮和彦編, 野菜の科学. 朝倉書店, 東京. 81-94.
- 20) Allison, M.J., Cook, H. M., Milne, D. B., Gallagher, S. and Clayman, R.V. 1986. Oxalate degradation by gastrointestinal bacteria from humans. J. Nutr.116 : 445-460.
- 21) Argenzio, R. A., Liacos, J. A. and Allison, M. J. 1988. Intestinal oxalate-degrading bacteria reduce oxalate absorption and toxicity in guinea pigs. J.Nutr.118 : 787-792.
- 22) Poneros-Schneier A. G. and J.W. Erdman, JR. 1989. Bioavailability of calcium from sesame seeds, almond powder, whole wheat bread, spinach and nonfat dry milk in rats. J. Food Sci. 54:150-153.

代謝酵素が広げるゴマリグナンの多様性

山本将之¹、堀川学²、村田純²、小埜栄一郎³Chemodiversity of lignans in *Sesamum* spp. through P450 enzymesMasayuki P. Yamamoto¹, Manabu Horikawa², Jun Murata², Eiichiro Ono³

要旨:ゴマの主要なリグナンである (+)-セサミンの生合成経路の解明から 10 年余りを経て、最近、(+)-セサミン合成酵素と同じく、シトクロム P450 スーパーファミリーに属する 2 つの新たなゴマリグナン合成酵素が明らかになった。栽培ゴマ (*Sesamum indicum*) の (+)-セサミン合成酵素 CYP81Q1 は (+)-ピノレジノールに 2 つメチレンジオキシ環を形成することで (+)-セサミンを生成する。これに対して、野生ゴマ *S. alatum* から見出された (+)-セサミン合成酵素ホモログ (CYP81Q3) は、(+)-エピピノレジノールに対して特異的にメチレンジオキシ環を一つだけ形成し、特徴的なリグナンである (+)-エピセサラチンの生合成に関わっていることが示唆された。また、栽培ゴマで (+)-セサミンと共に特徴的な代謝物である (+)-セサモリンと (+)-セサミノールの生成を担うセサミン代謝酵素が明らかにされた。遺伝学、ゲノミクス、生化学、有機化学的な手法を駆使して同定された新規なシトクロム P450 酵素 (CYP92B14) は、(+)-セサミンを基質に (+)-セサモリンと (+)-セサミノールの 2 つのリグナンを同時に生成する極めてユニークな反応 (ORA 反応) を触媒することが分かった。興味深いことに、この酵素による、(+)-セサミンを直接水酸化し (+)-セサミノールを生成する経路についても確認された。本総説では、これらシトクロム P450 の機能分化を通じて特異的なゴマリグナンが生成する機構について解説する。

1: (+)-セサミン合成酵素 CYP81Q1

栽培ゴマ (*Sesamum indicum*) は主要な油糧作物の 1 つであり¹⁾、その種子には油脂と共にフェニルプロパノイド系植物二次代謝物であるリグナン類が豊富に含まれている²⁾。栽培ゴマの種子中に多く蓄積するリグナン ((+)-セサミン、(+)-セサモリン、(+)-セサミノール (種子では主に配糖体として蓄積する)) は、健康機能性成分として注目されており、その生理作用の解明が進められている^{3, 4)}。その一方で、ゴマにおけるリグナンの生合成に関する知見は限られたものであった。リグナン代謝経路は 2 分子のコニフェリルアルコールの酸化的カップリング

により生じる (+)-ピノレジノールから始まる⁵⁾。主要なゴマリグナンである (+)-セサミンは、古くからシトクロム P450 (CYP) によって (+)-ピノレジノールから酸化的に生成することが示唆されていた⁶⁾。この酵素の特定がなされた結果、栽培ゴマの種子で発現する CYP81Q1 が (+)-ピノレジノールのもつ二つの芳香環に対して 2 回のメチレンジオキシ環形成反応を触媒し、(+)-ピペリトールを経て、(+)-セサミンが形成されることが明らかになった⁷⁾ (図 1)。

野性ゴマの 1 種 (*S. radiatum*) も種子に (+)-セサミンを蓄積するが⁸⁾、同種から単離された CYP81Q1 遺伝子ホモログの CYP81Q2 遺伝子についても、CYP81Q2 から栽培ゴマの CYP81Q1 と同

¹ 富山大学大学院理工学研究部 連絡先 mpyama@sci.u-toyama.ac.jp

² 公益財団法人サントリー生命科学財団

³ サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社

様のセサミン合成活性が確認された⁷⁾。同様のメチレンジオキシ環形成活性については、科を超えたハエドクソウにおいて見出された CYP81Q36 からも報告されている⁹⁾。

2: (+)-プルビアチロール合成酵素 CYP81Q3

一方、別の野生ゴマ (*S. alatum*) は (+)-セサミンを蓄積していないが⁸⁾、共通構造であるフロフラン環に結合した2つの側鎖の化学構造と立体化学が異なる (+)-エピセサラチンを蓄積する¹⁰⁾。(+)エピセサラチンはメチレンジオキシ環を1つ持ち、もう一方の立体化学が異なる芳香環には3つのメトキシ基を持つことが特徴である (図1)。この野生ゴマからも CYP81Q1 と相同性の高い CYP81Q3 が同定されていたが、CYP81Q3 からは (+)-ピノレジノールに対するセサミン合成活性は検出されなかった⁷⁾。

本種の種子中のリグナンプロファイリングを行なったところ、(+)-エピセサラチンに加え、同じ立体化学を有し、メトキシ基が1つ少ない新規リグナン ((+)-アラツミンと名付けた) が蓄積していることが確認できた¹¹⁾。さらに、微量ではあるが (+)-プルビアチロールと呼ばれるメチレンジオキシ環を1つもつペリトール異性体 (別名 (+)-6-エピペリトール) も検出された。このことから、おそらく同種においては (+)-エピピノレジノールを起点とし、次にメチレンジオキシ環が形成された (+)-プルビアチロールが生成し、水酸化、メチル化反応を経て (+)-アラツミンや (+)-エピセサラチンが生成する経路が存在することが示唆された (図1)。

実際に酵母で発現させた CYP81Q3 と (+)-エピピノレジノールを反応させたところ、予想通り (+)-プルビアチロールの生成が確認された。もう一方の芳香環にはメチレンジオキシ環は形成されず、(+)-エピセサミンに相当する2つのメチレンジオキシ環を持つリグナンは生じなかった。このことは基質である (+)-エピピノレジノール構造の非対称性に起因すると考えられた。さらに CYP81Q3 による (+)-プルビアチロール生成反応は CYP81Q1 の基質である (+)-ピノレジノールや (-)-ピノレジノールによる阻害を受けないことと、CYP81Q3 はメトキシエピピノレジノールの1つである (+)-フィリジエニ

ンに対してメチレンジオキシ環は形成できることから、CYP81Q3 は特定の立体化学を有するリグナン骨格に対して特異的に反応することが分かった¹¹⁾。この結果は栽培ゴマの CYP81Q1 の (+)-セサミン合成は (-)-ピノレジノールや (+)-エピピノレジノールによる阻害を受けず、これらが基質にならないことと同様であり⁹⁾、CYP81Q ファミリーの持つ高い基質特異性の表れと考えられる。ゴマのリグナン代謝進化の過程で、相同性の高い P450 の間で異なる基質に対する選択性がどのように進化してきたか、またリグナン骨格を特徴付ける上流の代謝物であるピノレジノールの立体異性体であるエピピノレジノールがどのように供給されているか、ゴマリグナン代謝への興味は尽きない。

3: (+)-セサモリン / セサミノール合成酵素 CYP92B14

栽培ゴマでは (+)-セサミンに加え、その酸化物と予想される (+)-セサモリンと、(+)-セサミノールの配糖体が蓄積していることが知られている。(+)セサモリンと (+)-セサミノール配糖体は共に栽培ゴマ種子中に存在するが、それらの極性は大きく異なるため細胞内分布は異なると考えられる。これらリグナンの生合成酵素については、(+)-セサミノールのグルコシル化に関わる酵素については報告がなされているが¹²⁾、(+)-セサモリンと (+)-セサミノールは (+)-セサミンの酸化によって生成している可能性が示唆されるものの、両者の生合成機構は長い間謎であった。

以前から栽培ゴマの中には種子中に (+)-セサモリンをほとんど含まない、(+)-セサモリン低含有系統が存在することが知られており¹³⁾、農研機構育成の高リグナンゴマ品種の1つ「まるえもん」も (+)-セサモリン蓄積量が少ない品種である¹⁴⁾。著者らも富山大学で保存されている栽培ゴマ系統のリグナン含量の調査の過程で、(+)-セサモリン低含有系統を複数見出している。これらの (+)-セサモリン低含有系統では、(+)-セサモリン生合成経路に異常が生じていると考え、(+)-セサモリン低含有性の原因遺伝子の同定を行うことにした。(+)セサモリン低含有系統と (+)-セサモリン含有系統の交雑を行い、得られた F₆ 世代の遺伝集団を用いて原因遺

伝子の存在する染色体領域を決定したところ、複数のシトクロム P450 遺伝子がクラスターとして存在する領域が候補領域として絞り込まれた¹⁵⁾。この領域のシトクロム P450 遺伝子、それぞれについて、(+)-セサモリン低含有系統と (+)-セサモリン含有系統の間で塩基配列の差を調査したところ、クラスター内の1つの遺伝子 (CYP92B14) のみに差が見出された。(+)-セサモリン低含有系統の CYP92B14 遺伝子は、含有系統の遺伝子に比べて1塩基の挿入が見出され、その結果、4アミノ酸短いタンパク質を産生することが示された (以降、変異型の CYP92B14 を CYP92B14Del4C とよぶ)。加えて、この1塩基の挿入変異は複数の (+)-セサモリン低含有系統間で保存されていた¹⁵⁾。さらに、CYP92B14 は登熟種子の (+)-セサモリン蓄積時期に高発現していることも示された¹⁵⁾。これらのことから、CYP92B14 が (+)-セサモリン生合成に関与する可能性が強く示唆された。

CYP92B14 が (+)-セサモリン生合成酵素であることを明らかにするために、酵母で発現させた (+)-セサモリン蓄積系統型の CYP92B14 タンパク質を用いて、リグナン代謝活性を調査したところ、CYP92B14 は (+)-セサミンから (+)-セサモリンを、さらに予想外であったが、(+)-セサミノールを共

生成した。一方で、CYP92B14Del4C は (+)-セサモリンも (+)-セサミノールも生成しなかった。以上の結果から、CYP92B14 は (+)-セサモリン、(+)-セサミノール合成活性を持つ新規のセサミン代謝酵素であると結論づけた¹⁵⁾。また、CYP92B14 は CYP81Q1 とは異なり、(+)-ピノレジノールも (+)-ピペリトールも基質としないことも示された¹⁵⁾。

CYP92B14 による (+)-セサミンから (+)-セサモリンと (+)-セサミノール生合成機構を明らかにするため、酸素の同位体を用いた反応および、重水素標識された (+)-セサミンを基質とした反応を行った。その結果、CYP92B14 は特異な反応 (oxidative rearrangement of α -oxy-substituted aryl groups: ORA 反応) により、(+)-セサミンから2つの生成物 ((+)-セサモリンと (+)-セサミノール) を生じさせることが示された¹⁵⁾。すなわち、CYP92B14 はまず、(+)-セサミンの芳香環を酸化し、その結果 C-C 結合が開裂した中間体 (図1 reaction intermediates) が誘導される。解離したフェノール性化合物 (セサモール) が C-O 結合で再結合すると (+)-セサモリンが生じ、C-C 結合で再結合すると (+)-セサミノールが生じる (図1)。この ORA 反応に加えて、興味深いことに CYP92B14 は (+)-セサミンを直接、水酸化することでセサミノールを生

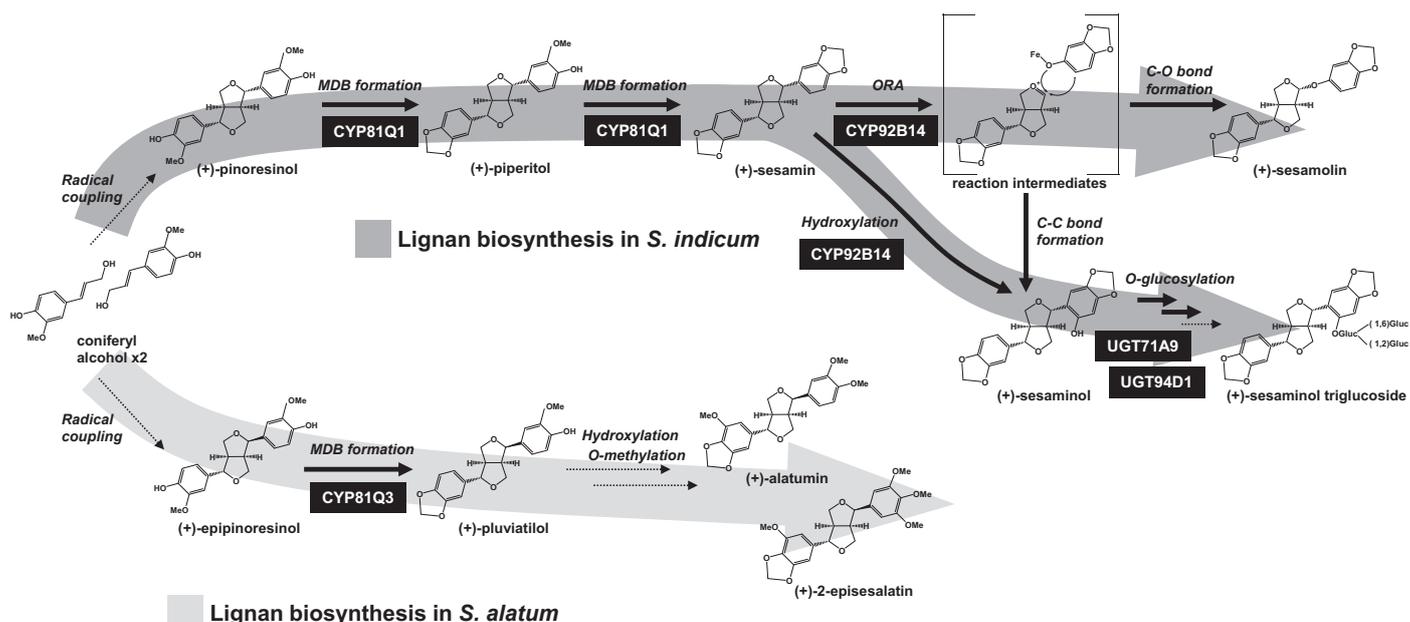


図1. ゴマのリグナン生合成経路

上部: *S. indicum* (コニフェリルアルコールからセサモリン・セサミノール配糖体まで)、下部: *S. alatum* (コニフェリルアルコールからアラツミン・エピセサラチンまで) のリグナン生合成経路。太線は触媒酵素が同定されている反応を示す。

成する活性も有することが示された (図 1)¹⁵⁾。また、化学合成では、加熱・酸性条件下において、セサモリンからセサミノールが容易に生成することが報告されているが¹⁶⁾、CYP92B14 はそのような反応を触媒しないことが分かった。

4: ゴマリグナン代謝の進化

栽培ゴマ (*S. indicum*) の種子には (+)-セサミン、(+)-セサモリン、(+)-セサミノールなどのリグナンが主として含まれる。一方で、野生ゴマ *S. radiatum* の種子からは (+)-セサミンが検出されるものの (+)-セサモリンは含まれず、野生ゴマ *S. alatum* の種子は (+)-セサミンや (+)-セサモリンではなく (+)-アラツミンや (+)-エピセサラチンが多く蓄積する^{8, 10, 11)}。このようにゴマ属植物の種子に含まれるリグナンは多様である。これらゴマのリグナンの生合成や代謝に関わる酵素については、2006 年に栽培ゴマの (+)-セサミン合成酵素 CYP81Q1 と、*S. radiatum* における同じ機能を有するカウンターパート CYP81Q2 が特定されたが⁷⁾、他のゴマリグナン合成酵素については長らく報告されていなかった。

上述のように、最近、我々は野生ゴマ *S. alatum* に含まれる、栽培ゴマとは構造的に異なるリグナンの生合成に、CYP81Q1, 2 のカウンターパートである CYP81Q3 が関わることを見出した¹¹⁾。このことは、祖先を同じくするシトクロム P450 の機能分化により、構造の異なるリグナンが作りだされてきたことを強く示唆している。

また、我々はほとんどの栽培ゴマに含まれる (+)-セサモリンと (+)-セサミノールが CYP81Q 酵素ファミリーとは異なるファミリーに属するシトクロム P450 酵素である CYP92B14 により (+)-セサミンから代謝されることも報告した¹⁵⁾。加えて、この反応は (+)-セサミンを酸化することで (+)-セサモリンと (+)-セサミノールを同時生成する特異な分子機構 (ORA 反応) によるものであることが明らかとなった。(+)セサモリンはゴマ科の植物では、一部の植物種から検出されており、栽培ゴマ、数種のゴマ属の植物(おそらく栽培ゴマと近縁な種)およびゴマ科の *Sesamothamnus* 属の植物に含まれることが報告されている⁸⁾。これに加えてゴマ科と

は遠縁の *Justicia orbiculata*、モリンガ (*Moringa oleifera*)、*Strychnos nuxblanda* からの報告例もあり¹⁷⁻¹⁹⁾、これらの (+)-セサモリン生成機構を特定していくことは代謝進化上、興味深い課題である。

(+)-セサモリンを蓄積することのゴマの生理・生態学的な意義は不明である一方で、(+)-セサモリンは特有の機能が知られている。(+)セサモリンは (+)-セサミンと同様にラジカル消去活性が低いものの、その特徴的な酸素挿入構造により、非酵素的 (加熱など) にもセサモールとサミンに分解されることが知られている²⁾。(+)セサモリンの分解により生成したセサモールは極めて高い抗酸化性やラジカル消去活性を示すことから、ゴマ油の酸化劣化耐性に大きく寄与していることが報告されている^{3, 20)}。このことは我々の祖先が、野生ゴマの中から油脂が酸化劣化しにくい種を選抜し、栽培ゴマとしたことが選択圧となって、現在の栽培ゴマに (+)-セサモリン合成酵素が存在するようになったことを窺わせる。

現在、栽培ゴマのゲノムを解読した中国農業科学院油料作物研究所 (武漢市) において栽培ゴマに最も近縁で祖先種と考えられている *S. malabaricum* (*S. orientale* var. *malabaricum*, *S. mulayanum*) を含むゴマ野生種のパンゲノム解析が進められている²¹⁻²³⁾。野生ゴマのリグナンプロファイルおよび CYP81Q1 と CYP92B14 のホモログ遺伝子の分布や酵素活性、並びに新規なゴマリグナン生合成遺伝子の単離を通じて、ゴマリグナンとリグナン生合成酵素の多様性と進化が明らかになるものと期待される。

ゴマリグナン類の生理・生態学的機能については不明な部分が多いが、一般的にリグナン類はストレスに対する防御成分として認識されており、リグナンの昆虫における忌避活性²⁴⁾ や種子発芽抑制²⁵⁾ が一部報告されている。今後、比較ゲノミクス、リグナン代謝変異体や生物活性評価を通じて、ゴマ植物におけるリグナン類の生理・生態学的理解を深めていきたい。これまでに得られた、また、これから得られるであろうゴマリグナンの知見を活かし、ゴマの産業利用が益々発展することを望んでいる。

【引用文献】

- 1) 小林貞作:ゴマの来た道 岩波新書 (1986)。

- 2) Y. Wan, H. Li, G. Fu, X. Chen, F. Chen, M. Xie: *J. Sci. Food Agric.* **95**, 2571-2578 (2014).
- 3) 並木満夫, 福田靖子, 田代亨 編 ゴマの機能と科学 朝倉書店 (2015).
- 4) 秋元健吾, 新免芳史, 沖田定喜, 小野佳子: 化学と生物, **56**, 598-604 (2018).
- 5) L. B. Davin, H.-B. Wang, A. L. Crowell, D. L. Bedgar, D. M. Martin, S. Sarkanen, N. G. Lewis: *Science* **275**, 362-366 (1997).
- 6) Y. Jiao, L. B., Davin, N. G. Lewis: *Phytochemistry* **49**, 387-394 (1998).
- 7) E. Ono, M. Nakai, Y. Fukui, N. Tomimori, M. Fukuchi-Mizutani, M. Saito, H. Satake, T. Tanaka, M. Katsuta, T. Umezawa, *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **103**, 10116-10121 (2006).
- 8) D. Bedigian, D.S. Seigler, J. R. Harlan: *Biochem. System. Ecol.* **13**, 133-139 (1985).
- 9) A. Noguchi, M. Horikawa, J. Murata, M. Tera, Y. Kawai, M. Ishiguro. T. Umezawa, M. Mizutani, E. Ono: *Plant Biotechnol.* **31**, 493-503 (2014).
- 10) A. Kamal-Eldin, Y. Gariballa: *Phytochemistry* **31**, 2911-2912 (1992).
- 11) E. Ono, J. Murata, H. Toyonaga, M. Nakayasu, M. Mizutani, M.P. Yamamoto, T. Umezawa, M. Horikawa: *Plant Cell Physiol.* doi:10.1093/pcp/pcy150. (2018).
- 12) A. Noguchi, Y. Fukui, A. Iuchi-Okada, S. Kakutani, H. Satake, T. Iwashita, M. Nakao, T. Umezawa, E. Ono: *Plant J.* **54**, 415-427 (2008).
- 13) 安本知子: 作物研報 **9**, 27-61 (2008).
- 14) 大瀧直樹, 勝田眞澄, 星野次汪, 佐川了, 安本知子, 杉浦誠, 山田哲也: 作物研報 **14**, 57-75 (2013).
- 15) J. Murata, E. Ono, W. Yoroizuka, H. Toyonaga, A. Shiraishi, S. Mori. M. Tera, T. Azuma, A. J. Nagano, M. Nakayasu, *et al.*: *Nat. Commun.* **8**, 2155 (2017).
- 16) Y. Fukuda, M. Isobe, M. Nagata, T. Osawa, M. Namiki: *Heterocycles* **24**, 923-926 (1986).
- 17) G. V. R. Babu, J. Kavitha, G. V. Subbaraju: *Indian J. Chem. Sect. B*, **40**, 864-866 (2001).
- 18) G. F. Chen, M. L. Yang, P. C. Kuo, M. C. Lin, M. Y. Liao: *Chem. Nat. Compd.* **50**, 175-178 (2014).
- 19) J. Sichaem, K. Ingkaninan, S. Tip-pyang: *Nat. Prod. Res.* **31**, 149-154 (2017).
- 20) 福田靖子: 並木満夫, 小林貞作 編 ゴマの科学 朝倉書店 pp180-203 (1989).
- 21) L. Wang, *et al.*: *Genome Biol.* **15**, R39 (2014).
- 22) L. Wang, J. Yu, D. Li, X Zhang. *Plant Cell Physiol.* **56**, e2 (2015).
- 23) X. Wei, K. Liu, *et al.*: *Nat. Commun.* **6**, 8609 (2015).
- 24) F.C. Schroeder, M.L. del Campo, J.B. Grant, D.B. Weibel, S.R. Smed-ley, K.L. Bolton, *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **103**, 15497-15501 (2006).
- 25) S. Yamauchi, H. Ichikawa, H. Nishiwaki, Y. Shuto: *J. Agric. Food Chem.* **63**, 5224-5228 (2015).

第1回国産ゴマ生産地の現地検討会を終えて

吉田元信

平成30年8月24日（金）駒ヶ根市役所を会場に第1回国産ゴマ生産地の現地検討会が開催されました。台風20号が通過する悪天候にも拘わらず、多くの方に参加いただきました。参加者の内訳は日本ゴマ科学会会員16名、非会員8名、駒ヶ根ごまプロジェクト関係者11名でした。現地検討会の開催にあたり、駒ヶ根ごまプロジェクトの関係者の皆様に改めて御礼申し上げます。

駒ヶ根ごまプロジェクトとして、黒ゴマの生産に取り組んでいるプロジェクトの構成メンバーは駒ヶ根市役所、JA上伊那、(株)豊年屋、駒ヶ根商工会議所、上伊那地方事務所、駒ヶ根建設業環境事業推進協議会等からなる。平成29年度の栽培面積は13.5haで、生産量は7tであった。栽培面積、生産量とも年々増加傾向にあり、台風被害等の自然災害が少ないのも、地域の強みになっている。ゴマ生産への取り組みは、平成15年企業誘致により、駒ヶ根市に工場を移転した(株)豊年屋から地元への働きかけから始まった経緯があり、(株)豊年屋の存在は大きく、スタート時にすでに出口の部分が見えていた。こうした状況で、平成19年に農商工連携の駒ヶ根ごまプロジェクトが動き出した。

第1回国産ゴマ生産地の現地検討会は第1部、駒ヶ根市役所の会議室で、「ごまの特産化へ向けた取り組み」副題「農商工連携と駒ヶ根ブランドを目指して」でスライドを使い、駒ヶ根市の現状、駒ヶ根ごまプロジェクトの発足時での状況、栽培におけ

る効率化として、1)コーティング種子のマルチ同時播種機、2)改良バインダーの使用説明があった。生産者に対し年5回の講習会（栽培講習会、播種講習会、現地確認調査会、収穫講習会、出荷講習会）が実施されている。また、黒ゴマを駒ヶ根市の地域ブランドにするために、ごま料理教室をはじめとして、さまざまな試みがなされている。第2部では上赤須区と中沢区の2ヶ所で圃場を見学し、生産者から説明を受けたあと、栽培に関する種々の質問がなされた。乾燥は圃場の近くのビニールハウスで行う場合と、畝に寒冷紗を敷き、その上で行う場合があり、いずれも唐箕を掛けて、20kgの袋に詰め、JA上伊那へ出荷している。第3部は市役所の会議室に戻り、6名の生産者が前席につき、パネルディスカッション形式で質疑応答がなされた。1)黒ゴマの産地化に行きついた経過説明で、岩手黒が駒ヶ根市の気候、風土に合っていた。2)JA上伊那で種子コーティングを行い、生産者に渡し、栽培収穫し、JA上伊那に出荷し、(株)豊年屋に売却と、地域内で完結している。3)栽培での問題は、連作障害であり、その対策として、黒ゴマと二条オオムギの輪作を実施している。黒ゴマを栽培後、1、2年休耕している。また、信州大学との連作障害対策の共同研究では、微生物を含む堆肥の実施や岩手黒以外の黒ゴマの栽培が挙げられる。第1回国産ゴマ生産地の現地検討会として、充実した現地検討会の内容であった。本大会とは異なり、より現場に密着した活発な議論が行われた。また、非会員の方が多く参加され、質疑応答に積極的に参加されていたことが印象的であった。

日本ゴマ科学会 入会申込書

会員番号	6 6 0	-											
入会年度：												年度	

貴会の趣旨に賛同し、(1. 普通会員 ・ 2. 学生会員)として入会を希望します。

申込日：西暦 年 月 日

	姓 (Family name)	名 (Given name & Middle name)
フリガナ		
氏 名		

連絡先	1. 所属	2. 現住所	※連絡先 (送付先) をご指定下さい
-----	-------	--------	--------------------

■所属情報■

名 称														
	(職名)													
所在地	〒													
	TEL :	(内線 :						・直通)	FAX :					
	E-mail :													

■現住所 (自宅) 情報■

現住所	〒												
	TEL :							FAX :					
	E-mail :												

■専門分野■

専門分野	
------	--

<入会申込書送付先>

日本ゴマ科学会事務所

庶務幹事 吉田和司

カタギ食品株式会社品質保証部

〒572-0025 大阪府寝屋川市石津元町 12-8

電話 072-828-5101 FAX 072-838-9301 E-mail : kyoshida@katagi.co.jp

日本ゴマ科学会 入会申込書 <賛助会員用>

貴会の趣旨に賛同し、賛助会員として入会を希望します。

申込年月日	西暦 年 月 日	会員番号	660-
入会年度	年度	申込口数	口
ふりがな			
法人・機関名			
ご担当者	氏名		
	所属（部署）	役職名	
	TEL :	FAX :	
	（内線： ・直通）		
	E-mail :		
所在地	（〒 - ）		

1. 本学会の会計年度は4月～翌年3月です。
2. 賛助会員年会費（1口20,000円、2口以上）は、入会申込書ご提出後に請求させていただきます。
 なお、請求書発行までに約1カ月を要しますので、ご了承ください。

<入会申込書送付先>

日本ゴマ科学会事務所

庶務幹事 吉田和司

カタギ食品株式会社品質保証部

〒572-0025 大阪府寝屋川市石津元町12-8

電話 072-828-5101 FAX 072-838-9301 E-mail : kyoshida@katagi.co.jp

賛助会員名簿

(平成 30 年 7 月現在)

伊藤忠食糧株式会社	株式会社浜田屋
今井製油株式会社	株式会社紅乙女酒造
岩井の胡麻油株式会社	株式会社豊年屋
株式会社大村屋	株式会社マコト
Ottogi 製油株式会社	松本製油株式会社
株式会社オニザキコーポレーション	みたけ食品工業株式会社
カタギ食品株式会社	三井物産株式会社
かどや製油株式会社	株式会社 Mizkan
兼松株式会社	株式会社 MC アグリアライアンス
キューピー株式会社	理研ビタミン株式会社
九鬼産業株式会社	株式会社和田萬商店
サントリーウエルネス株式会社	株式会社わだまんサイエンス
株式会社真誠	株式会社丹羽メディカル研究所
全国胡麻加工組合	大阪ガスリキッド株式会社
竹本油脂株式会社	清本鐵工株式会社
株式会社波里	丸美屋食品工業株式会社
日清オイリオグループ株式会社	吉美食品株式会社
株式会社浜乙女	豊通食料株式会社

2018 年 (平成 30 年) 10 月 1 日発行

セサミニュースレター No. 33

発行者 日本ゴマ科学会
会長 吉田元信

発行所 〒572-0025 大阪府寝屋川市石津元町 12-8
カタギ食品株式会社品質保証部内 日本ゴマ科学会事務所
Tel : 072-828-5101
Fax : 072-838-9301

印刷所 〒501-2517 岐阜県岐阜市三輪ぶりとびあ 3
株式会社コムラ
Tel : 058-229-5858(代) Fax : 058-229-6001
