

Ⅲ 大豆とその調理加工が脂質代謝改善作用に及ぼす影響

1. はじめに

2013年12月、日本人の伝統的な食文化である「和食」がユネスコ無形文化遺産として登録された。多様で新鮮な食材を用いる和食は、健康的な食生活を支える栄養バランスが整った食文化である。その和食に用いられる主要食材の一つが大豆である。大豆にはタンパク質やイソフラボン等の良質な栄養素や機能性成分が多く含まれており、古くから日本人の健康を支えてきた。我が国では伝統的に数多くの大豆食品が利用されており、国民一人あたり大豆摂取量は世界の中でもトップクラスである。一方、国際的に見ると、大豆は油脂や家畜飼料の原料となる油糧作物として扱われることが多く、食素材としてのイメージは薄い。しかし大豆の健康機能が知られるようになってからは、これまで大豆を食べていなかった地域でもヘルシーフードとして市場に出回るようになった。ここでは、脂質代謝改善作用を中心とした大豆および大豆食品の健康機能性と、調理加工が健康機能性に及ぼす影響について考えたい。

2. 大豆の脂質代謝改善作用

2.1 疫学調査研究の結果と大豆の栄養成分・機能性成分

Yamoriらが世界60地域で実施した疫学調査の結果、大豆の摂取量が多い集団では肥満度（BMI; Body Mass Index）、血圧、血中総コレステロール濃度が有意に低いことが明らかになった¹⁾。これは人種や性別、地域にかかわらず、大豆摂取が心臓病の予防と深い関係があることを示している。その関与成分と作用メカニズムを解明するため、これまで数多くの研究が行われている。

日本食品標準成分表2010によると、大豆の栄養成分のうち約35%はタンパク質、約20%は脂質である（図1）^{2) 1)}。これは、澱粉を主体とする炭水化物が50%以上を占める一般的な豆類とは対照的である。大豆にも炭水化物は約30%含まれているが、その多くは食物繊維に分類されており、糖類は少ない。また、大豆の特徴的な機能性成分はポリフェノールの一種、イソフラボンである。その他、サポニン、レシチン、植物ステロール等が知られている。以下、脂質代謝に関わる主な大豆の栄養成分・機能性成分について、これまでに報告されている作用を示す。

2.2 大豆タンパク質の脂質代謝改善作用³⁾

大豆タンパク質の脂質代謝改善作用は、血中コレステロール濃度低下、血中中性脂肪濃度低下、体脂肪蓄積抑制、糖尿病抑制等が報告されている。コレステ

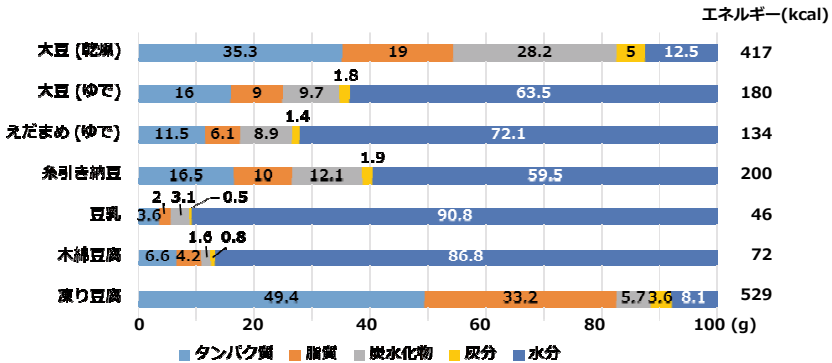


図1 大豆食品 100 g あたりの栄養組成

ロール代謝については、ラットやマウスを用いた研究で、乳タンパク質のカゼインと比べ、大豆種子から分離・精製された大豆タンパク質（分離大豆タンパク質）の摂取により、糞便中への胆汁酸およびコレステロールの排出量が増加することが観察されている。胆汁酸は肝臓でコレステロールから合成され、胆汁として消化管に分泌されて食餌由来の脂肪やコレステロールとミセルを形成し、吸収を促進する。胆汁酸の大半は小腸で吸収された後も再利用されるが、大豆タンパク質摂取により糞便中への排出量が多くなると、新たに胆汁酸を合成しなければならなくなるため、材料となる生体内のコレステロール量が低下する。コレステロールはステロイドホルモンや細胞膜の構成物質であり、これらの合成にも必須である。また、消化管内でフリーの胆汁酸が減少すると、ミセルが形成できずに吸収量が低下することも、血中コレステロール濃度低下の一因となる。大豆タンパク質の消化物であるペプチドには、胆汁酸との強い結合能が確認されている。

大豆タンパク質による血中中性脂肪濃度低下作用は、肝臓での脂肪酸合成能の低下と脂肪酸β酸化能の亢進が知られている。大豆タンパク質を摂取すると、異化ホルモンであるグルカゴンの血中濃度が上昇するため、インスリン／グルカゴン比が低下する。その結果、肝臓で脂質合成系を制御する転写因子 SREBP-1c (sterol regulatory element-binding protein-1c) が抑制されることで、脂肪酸合成系酵素の遺伝子発現が減少するのではないかと考えられている。また、CPT-1 (carnitine palmitoyltransferase-1) を誘導し、ミトコンドリア内への脂肪酸流入を促進することで、脂肪酸β酸化を亢進させることが見いだされている。

さらに、大豆タンパク質はカゼインと比べ、血中インスリン濃度を低下させることが示されており、II型糖尿病の発症を抑制すると報告されている。血中インスリン濃度が低下すると、インスリン感受性のある SREBP-1c の発現が低下し、肝臓での脂肪酸合成が抑制される。したがって、大豆タンパク質は脂肪肝の進行

を抑えてインスリンシグナル伝達を改善するため、インスリン抵抗性の抑制も期待できる。

このような研究結果を受けて、大豆タンパク質の健康機能表示が行政により認められるようになった。米国食品医薬局（FDA）は、「飽和脂肪およびコレステロールの低い食生活の一環として1日あたり25gの大豆タンパク質を摂取すると、心臓病のリスクを軽減することがある」とのヘルスクレーム（健康強調表示）を1999年に認めている^{4) iii)}。我が国では、基準を満たした大豆タンパク質を含む食品に対し、消費者庁が特定保健用食品として「コレステロールが高めの方に適する」旨の表示を許可している。

大豆タンパク質は単一のタンパク質ではなく、主要な成分ではグリシニン約40%、 β -コングリシニン約20%、脂質親和性大豆タンパク質約40%で構成されている⁵⁾。最近では、これらの各分画物が脂質代謝にどのような影響を与えるかも調べられており、そのうち β -コングリシニンは血中中性脂肪濃度の低下作用を示すことが明らかになってきた。Kohnoらは、血中中性脂肪濃度が高めの被験者が β -コングリシニンを含む錠薬を12週間摂取すると、プラセボ群と比べて血中中性脂肪濃度が有意に低下すること、20週間の摂取で内臓脂肪面積が有意に減少することを報告している⁶⁾。この β -コングリシニンも、血中中性脂肪濃度の上昇を抑制する特定保健用食品の関与成分として認められている。

2.3 大豆に含まれる脂質の脂質代謝改善作用⁷⁾

大豆油に含まれる脂質には、必須脂肪酸であるリノール酸や α -リノレン酸が多く含まれる。リノール酸は大豆油の約50%を占めるn-6系不飽和脂肪酸であり、血清コレステロール濃度の低下作用が知られている。 α -リノレン酸は大豆油に10%程度存在するn-3系不飽和脂肪酸である。 α -リノレン酸は酸化されやすいため、体内でエネルギー源として容易に消費される。また、これらの脂肪酸はPPAR α (peroxisome proliferator-activated receptor α) のリガンドとして脂肪酸酸化を促進することも明らかになっている。

大豆レシチン（フォスファチジルコリン）の名称で知られているリン脂質も豊富である。リン脂質の摂取により血中や肝臓の脂質レベルが低下することは、実験動物を用いた研究で数多く示されている。大豆リン脂質は、脂肪酸合成の抑制により肝臓での脂質合成を低下させることがIdeらによって報告されている⁸⁾。

さらに、大豆油に含まれる植物ステロールには、コレステロールと類似の構造を持つシトステロールやカンペステロール等がある。植物ステロールは血中コレステロール、特にLDL（低密度リポタンパク質）コレステロールの低下作用があることが知られている。これは、植物ステロールが小腸でのコレステロール吸収を阻害するためであると考えられている。

2.4 大豆の食物繊維による脂質代謝改善作用

豆乳や豆腐を製造する際に生じるオカラには食物繊維が多く含まれる。大豆の食物繊維は、水溶性と不溶性の2種類に分けられ、それぞれ生理機能が異なる。一般的に、水溶性食物繊維は腸管からの脂質吸収を阻害することが知られている⁹⁾。大豆の食物繊維は腸内細菌によって資化されやすく、特に水溶性食物繊維から短鎖脂肪酸が効率よく生成される¹⁰⁾。この短鎖脂肪酸は腸内環境を整え、肝臓でのコレステロールの合成を阻害する可能性が示唆された。ラットを用いた試験では、小麦フスマと比べてオカラを与えた群で血清総コレステロール値の有意な低下が認められた¹¹⁾。

2.5 イソフラボンの脂質代謝改善作用

23のヒト比較介入試験データのメタ解析研究の結果、イソフラボンを含む大豆タンパク質は、動物性タンパク質と比べて血中脂質濃度を有意に改善したことが示された¹²⁾。分子学的研究の結果から、イソフラボンの抗動脈硬化作用は、イソフラボンが持つ抗酸化活性の他、胆汁酸分泌増加、腸管でのコレステロール吸収抑制、LDLレセプター活性増加等によるものであると考えられている¹³⁾。

その一方で、イソフラボン単独の効果を検証したメタ解析の結果では、脂質代謝改善作用にイソフラボンの関与は認められないとの報告もあり¹⁴⁾、ヒトでのイソフラボンそのものの脂質代謝改善作用についてはまだ明らかではない。

以上、大豆成分が脂質代謝改善作用に及ぼす影響をまとめたものを図2に示す。

3. 大豆の調理加工と食生活への貢献

豆類は自己防衛の手段として、動物や昆虫による食害や微生物等による変質を防ぐための成分を有している。大豆には、生体内で糖鎖構造と結合して炎症を引き起こすことがあるレクチンや、トリプシンインヒビターのような消化酵素阻害物質等が含まれている¹⁵⁾。そのため大豆は生食することができず、加熱等の調理加工が不可欠である。また、大豆は特有の豆臭さが敬遠されることがある。原因はリポキシゲナーゼという酵素であり、磨砕により大豆子実の細胞が破壊されると不飽和脂肪酸に作用して、臭みの原因物質であるn-ヘキサナールを発生させる¹⁶⁾。このような大豆の不快成分の生成抑制にも調理加工が必要である。

米食中心の東アジアでは、大豆を食糧として取り入れている地域が多い。大豆はタンパク質や脂質の貴重な供給源であり、米に不足するアミノ酸であるリジンも多く含んでいるため、米と大豆は理想的な組み合わせである。その東アジアでは、大豆の優れた加工特性を活かした大豆の調理加工法が発達し、様々な大豆食品が生み出されてきた。日本で生産されている大豆食品の例を図3に示す。我が国における大豆加工食品の多様さは大豆の消費量の多さに関係していると同時に、さまざまな食材を用いる食生活の豊かさを反映したものであると言える。

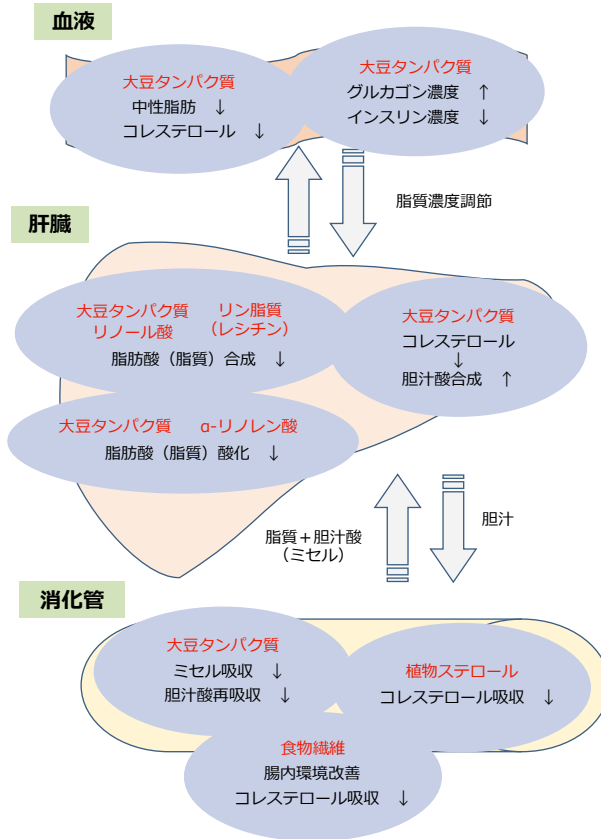


図2 脂質代謝に影響を及ぼす大豆の成分

4. 調理加工における機能性の変化

調理加工は食用に適さない成分を除去したり分解したりして美味しく食べられるようにするだけではなく、大豆に含まれる栄養成分の組成や機能性成分の含有量も変化させる。「大豆食品を食べましょう」と言われることがあるが、煎り豆や煮豆、豆腐、納豆、さらに味噌や醤油も大豆を原料とした食品である。どの大豆食品でもいいのか、1種類を多量に摂ってもいいのか、具体的な食べ方まで触れられることはほとんどない。しかし、同じ大豆を原料として大豆食品を作ったとしても、それぞれ製造方法が異なる大豆食品では、栄養の組成や含有量が違う(図1)。したがって、脂質代謝に対する影響も異なるはずである。では、どんな大豆食品を食べればよいのだろうか。

前述のように、大豆に含まれるいくつかの成分が脂質代謝改善に寄与すること

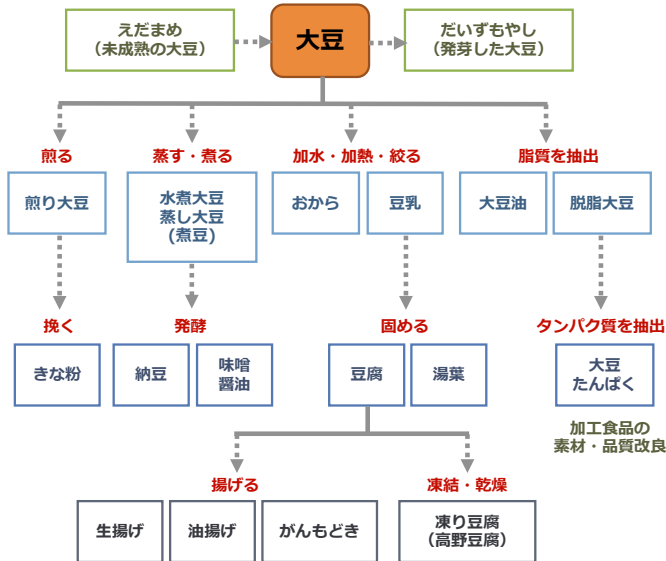


図3 日本で生産されている大豆食品の例

は、これまでの研究により理解が進んでいる。しかし、研究されているのは、大豆から単離された、または合成された成分についての作用メカニズムであることがほとんどである。一方、食品は複数の成分から構成されている。複数成分の共存下においては単一成分だけでは見られない相乗作用が生じる場合や、単独では脂質代謝改善作用を示す成分でも、他の成分の影響により相殺作用が働く場合もあることが予想される。あるいは、栄養組成は見かけ上同じであったとしても、生理機能が異なる場合もある。例えば、生卵とゆで卵は加熱の有無の違いだけで栄養組成はほとんど変わらないが、生卵の方が日持ちがよい。これは、生卵に含まれるリゾチームという溶菌作用のある酵素が加熱により失活するためである。大豆を例にとると、低アレルギー大豆食品が挙げられる。大豆のアレルゲンは大豆種子中の特定のタンパク質分子であり、発酵や酵素の利用、加圧・加熱・混捏処理により低アレルギー化が実現することが報告されている¹⁷⁾。このように同じ農産物であっても、食品加工がその素材の持つ生理機能に大きな影響を与えることがある。

したがって、大豆食品が有する真の脂質代謝改善作用を解明するには、食品に含まれる成分から推測するだけでなく、食品をひとつの食餌因子と捉え、食品そのものの機能性を研究する必要がある。食品の機能性研究においては、まず関与成分を特定し、その成分の作用メカニズムを解明するのが一般的な流れである。「食品そのもの」「食品丸ごと」の機能性は、「どの成分が」「どの作用メカニズム

に「どれだけ寄与」しているかを推定するのが困難であるとされており、機能的な作用メカニズムの研究の対象とみなされることはほとんどなかった。しかし、我々が日常の食生活で口にしていないのは「農産物」「食品」「食事」であって、「食品成分」ではない。従来の機能的な研究の視点で見ると解決し難い問題点はあるが、これまで蓄積されている「食品成分」の機能的な知見を基に、実際に摂取している形状に近い「食品」の機能的な解明にも挑む必要があるのではないかと考えている。そこで我々は、日本に古くから伝わる大豆の加工食品である凍り豆腐の機能的な解明を試みた。

5. 凍り豆腐の脂質代謝改善作用の解明

5.1 凍り豆腐の栄養成分と血清脂質濃度低下作用

凍り豆腐は、加熱した豆乳に塩化カルシウム等の凝固剤を添加し、タンパク質成分を凝集させたものを脱水した後、緩慢凍結、低温熟成を経て、解氷、脱水、膨軟加工を行い、乾燥させたものである¹⁸⁾。凍り豆腐の主要な栄養成分の約半分（重量比）がタンパク質であり、約1/3を占める脂質が続く（図1）。畜肉や魚肉よりも高タンパク質であり、古来より保存食として重宝されてきた。また、日本人に不足しがちな鉄（6.8mg/100g）やカルシウム（660mg/100g）も比較的豊富に含まれている²⁾。さらに、大豆に多く含まれるイソフラボンも存在する。では凍り豆腐には、大豆の成分で報告されているような脂質代謝改善作用があるのだろうか。ここでは、凍り豆腐は実際に脂質代謝改善作用を示す食品なのか、さらに凍り豆腐中のタンパク質とイソフラボンに注目し、これらの成分がどの程度、どの代謝系に作用するのかを解析した¹⁹⁾。

本研究では、雄ラットを以下の6つの食餌群に分け、2週間の自由摂取による食餌試験を行った：①カゼイン+イソフラボンなし（C） ②大豆タンパク質+イソフラボンなし（S） ③カゼイン+イソフラボン（凍り豆腐食（⑥）と同等量）（CI） ④大豆タンパク質+イソフラボン（SI） ⑤食餌タンパク質源にカゼインと凍り豆腐を同等量使用（T10） ⑥食餌タンパク質源全てが凍り豆腐（T20）（図4）。








群名	C	CI	S	SI	T10	T20
タンパク質 (飼料重量の20%)					 	
イソフラボン (食餌重量比)	(0)	(0.012%) 大豆イソフラボン添加	(0.002%) 大豆タンパク質由来	(0.012%) 大豆イソフラボン添加	(0.006%) 凍り豆腐由来	(0.012%) 凍り豆腐由来
	ミルクカゼイン	ミルクカゼイン	大豆タンパク質	大豆タンパク質	凍り豆腐カゼイン	凍り豆腐

図4 凍り豆腐試験の食餌タンパク質源およびイソフラボン量

飼育期間終了時のラット血清の中性脂肪濃度および総コレステロール濃度の値を示す（図5）。カゼインのみのC群とイソフラボンを添加したCI群との差はほとんど見られなかったのに対し、大豆タンパク質のみを添加したS群および大豆タンパク質にイソフラボンを添加したSI群では低下しており、特に総コレステロールでは有意差が見られた。凍り豆腐を添加した群ではその量にかかわらず、C群と比べて両脂質濃度とも有意に低下していた。このことから、凍り豆腐はカゼインと比較すると血清脂質濃度を低下させることが明らかとなり、その作用は凍り豆腐中のタンパク質成分に由来することが示唆された。一方、イソフラボンは単独で摂取した場合は脂質代謝改善作用がなく、大豆タンパク質とともに摂取した時でも有意な低下作用を示さなかった。

5.2 凍り豆腐摂取により影響を受ける脂質代謝調節メカニズム

凍り豆腐の血清脂質濃度低下作用が示されたところで、その作用メカニズムはどのようなものであり、どの成分が関与していたのだろうか。作用メカニズムの解明方法として、従来の機能性解析で用いられてきた脂質代謝関連の遺伝子やタンパク質の発現量、酵素活性、代謝物の種類や量の測定に加え、生体における代謝の変化をグローバルに観察するオミクス解析の活用が広まってきた。本研究ではオミクス解析の中で研究報告例の多い、DNA マイクロアレイを用いたトランスクリプトミクス解析を行った。DNA マイクロアレイを用いた脂質代謝制御メカニズムの研究方法については、既報を参照されたい²⁰⁾。

摂取した食餌の栄養成分が消化吸収され、最初に運ばれるのが肝臓である。肝臓は栄養成分の代謝や貯蔵、薬物や毒性成分の代謝分解等、生体の維持に大きな役割を果たす。肝臓で発現する様々な遺伝子の発現変化を調べることで、凍り豆腐を摂取したときの代謝全般に及ぼす影響を把握することができる。そこで、DNA マイクロアレイにより肝臓で発現していた遺伝子全ての mRNA 量を各食

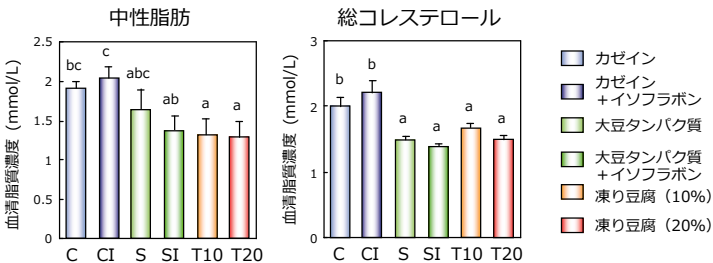


図5 凍り豆腐食が血清脂質濃度に及ぼす影響

値は平均±標準偏差で示す (n=7-8)。

abc 異なる文字を付した数値間には有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

餌群の個体ごとに測定し、6つの食餌群間で発現量が有意に変化した遺伝子を選抜した。これらの遺伝子の機能を既存のデータベースで検索し、食餌の違いがどの代謝系の遺伝子発現に強く影響を与えていたのかを解析した。その結果、上位20の代謝系のうち約半数が脂質代謝に関連するものであった。酸化還元や薬物代謝、細胞周期関連の代謝系も少数存在したが、脂質代謝のように明確な影響の方向性を示す系はなかった。すなわち、凍り豆腐やその食品成分である大豆タンパク質やイソフラボンの摂取により、最も大きな影響を受ける代謝系は脂質代謝であり、その他には特に大きな影響がないことが示唆された。

次に、脂質代謝は各食餌によってどのような影響を受けたのか、食餌群ごとに各遺伝子発現量の変化パターンを解析し、脂質代謝調節作用の詳細を検討した。似た発現パターンを示した遺伝子をグループ化し、そのグループに含まれた遺伝子の機能を調べることで、食餌と脂質代謝の変化の関係を特定した。その結果、カゼインのみ、イソフラボンのみの食餌群で発現量が上昇し、大豆タンパク質のみ、大豆タンパク質+イソフラボン、そして2つの凍り豆腐食群では発現量が減少するパターンを示した脂質代謝関連遺伝子が最も多かった(図6)。これらの遺伝子の機能の多くは脂質合成に関わるものであった。したがって、肝臓での脂質合成系はカゼイン単独またはイソフラボン単独では上昇し、大豆タンパク質または凍り豆腐を含む食餌では減少したことが示された。このことは、凍り豆腐のイソフラボン成分ではなく、タンパク質成分が脂質合成を抑制することを示唆しており、この変化は血清中の脂質濃度の変化と一致した。

DNA マイクロアレイは一度に数万もの遺伝子発現を定量できることが最大の利点である。今回の研究では脂質代謝改善作用以外の変化は見いだせなかったが、これまで知られていなかった新しい機能性の探索にも活用できる。なお、本研究で得られたDNA マイクロアレイのデータは、食品総合研究所のホームページにある「ニュートリゲノミクス機能性評価データベース」の「実験一覧」から見ることができるⁱⁱⁱ⁾。

5.3 凍り豆腐の脂質代謝改善作用：既報のデータから

本研究以外でも凍り豆腐が脂質代謝に及ぼす影響を調べた研究があるので、併せて紹介する。Ishiguroらは、凍り豆腐加工の過程で、消化酵素による分解を受けにくいタンパク質分子画分HMF (high-molecular-weight fraction) が多く生成すること、さらに、分離大豆タンパク質よりも凍り豆腐タンパク質を摂取したラットの血中総コレステロール濃度が有意に低下することを示し、HMFの高い胆汁酸結合能によるものであると推定した²¹⁾。

ヒト試験では、肉中心の食餌を摂取する期間に上昇した血中総コレステロール濃度が、凍り豆腐を含む食餌に切り替えると、約1ヶ月間で元の濃度近くまで低下したことが報告されている²²⁾。血中中性脂肪濃度についても、牛肉を原料

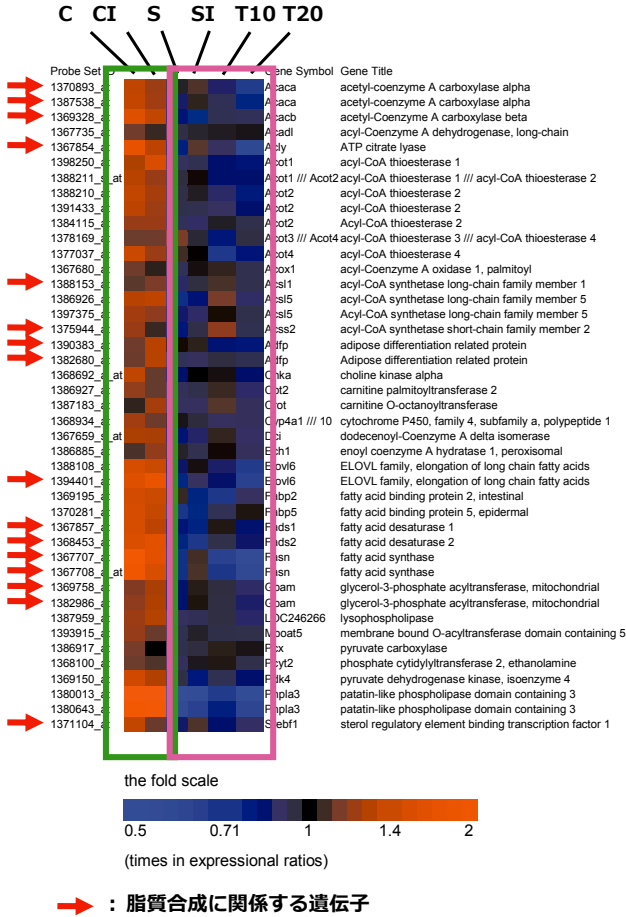


図6 凍り豆腐食が肝臓の脂質代謝系遺伝子の発現に及ぼす影響 (一部)

としたハンバーグを単回摂取した後の上昇量と比較して、凍り豆腐を含むハンバーグを摂取した後ではその上昇が有意に抑制されたことが示されている²³⁾。

6. 大豆食品間での脂質代謝への影響の違い²⁴⁾

5. の凍り豆腐の研究では、凍り豆腐に含まれる食品成分から脂質代謝改善に関わる成分を推定し、その単独成分と凍り豆腐そのものの機能性を比較することで、代謝に関与する主成分とその作用メカニズムを説明しようとした。先に述べたように、従来の食品機能性研究では、関与成分の特定とそのメカニズム解明が重要だからである。しかし、食品そのものの機能性は特定の一成分だけで説明できる

とは限らない。食品をひとつの食餌因子としたときの機能性を評価する方法には、まだ指針がない状態である。我々は実験動物を用いて、食品そのものの機能性を成分で分割することなく、複数の食品間で機能性を直接比較することを試みた。

凍り豆腐の研究と同様に、雄ラットの飼料中に乾燥重量 300 g/kg の大豆食品を添加し、21 日間自由摂食させた。本研究では、同じ原料大豆を用いて製造した煎り大豆、豆乳、生豆腐、凍り豆腐の 4 種類を試料とした。食餌の腐敗を防ぐため、全て脱水・乾燥させた試料を用いたが、乾燥重量で同量を試験に供すると、元の食品の状態と乖離するのではないかと危惧が生じる。しかし、ヒトの食事 1 回あたりの喫食量で考えると、市販の凍り豆腐 1 枚に使われている大豆の量は、煎り大豆で 1/3 カップ、豆乳ではカップ 1 杯、生豆腐では 1/2 ~ 1/3 丁程度に相当し、その各 1 回分の食品の乾燥重量はいずれもほぼ同等である。したがって、乾燥状態での比較は妥当と考えた。乾燥させた各食品の栄養組成をみると、丸大豆（煎り大豆）から豆乳、生豆腐、凍り豆腐と加工度が上がるにつれてタンパク質と脂質の割合が増加し、炭水化物が減少していたのが特徴的だった。また、煎り大豆では、オカラ成分を除いて製造した他の大豆食品と比べて、不溶性が主体の食物繊維量が多かった。この栄養成分組成の違いがラットの脂質代謝改善作用にどのような影響を与えるかを解析した。

食餌試験の結果、有意差は検出されなかったが、血清および肝臓の中性脂肪と血清総コレステロール濃度は、煎り大豆群と比べて豆乳、生豆腐、凍り豆腐群で低下傾向が見られた。大豆タンパク質は肝臓での脂質合成系を抑制することが報告されているが、本研究でも、大豆タンパク質が豊富な豆乳、生豆腐、凍り豆腐を食べたラットの肝臓で脂肪酸合成系酵素の活性およびその遺伝子発現量の低下が認められ、大豆食品中のタンパク質が肝臓での脂質合成を抑制することが示唆された。

また、脂質の消化・吸収の点では、煎り大豆群の糞便中の総脂質量が、その他の食品群と比べると 2 倍以上増加していた。脂質の吸収を妨げる代表的な食品成分として食物繊維が考えられるが、食餌中の食物繊維量はセルロースを添加して全群でほぼ同等に合わせていた。したがって、煎り大豆に含まれる水溶性食物繊維またはセルロースとは異なる不溶性食物繊維に食餌脂質を強く吸着する性質があるのではないかと考えられた。さらに、糞便中の胆汁酸量を測定すると、生豆腐および凍り豆腐群で煎り大豆、豆乳群と比べて有意に高かった。生豆腐と凍り豆腐は豆乳中のタンパク質を凝集させているので、この凝集により変性した（あるいはその凍結・乾燥に由来する変性）タンパク質が消化管で胆汁酸を吸着し、再吸収を阻害する作用を持つ可能性がある。

本研究の結果、同じ原料大豆を用いて製造した大豆食品であっても、栄養組成や物理化学的な成分の変性により、食品の機能性が異なることが示唆された。新規の機能性食品でなく一般的な加工食品を日常的に摂取しても、ある程度の脂質

代謝改善作用が期待でき、個人の代謝状態に合わせて最適な機能性が得られる食品を選べる可能性も広がる。また、加工方法の工夫により食品の機能性をデザインし得ることなど、新しい機能性食品の創出につながるヒントが隠されているかもしれない。

しかし、このような食品同士を比較する方法には、多くの問題点が残されている。食品の機能性研究では、対照となる食餌群を設定するのが普通であるが、どのような食餌組成を当該食品の非摂取群とするのが望ましいのかを示す指針がない。また、各食品の単位重量あたりのエネルギー量や栄養組成が異なるため、試験対象の食品の差ではなく、そもそものエネルギー量等の違いに由来する差が生じたとの可能性は否定できない。さらに、エネルギー摂取量や栄養組成を揃えるにしても、そのために添加した食品精製物等の影響の方が強くなるのではないかと懸念もある。同じ原料を用いて作った食品では栄養組成の違いが顕著でないことや、相当の栄養組成の差があっても生理作用としての違いがほとんど見られないケースもある。「食品そのもの」の機能性研究はまだ始まったばかりであり、どのように評価するのが妥当であるかを模索することが今後の検討課題である。

謝辞

本研究は、農林水産省委託事業「農林水産物・食品の機能性等を解析・評価するための基盤技術の開発」および一般財団法人・旗影会の研究助成により実施されたものである。

(食品機能研究領域 栄養機能ユニット 高橋 陽子)

参考文献

- 1) Yamori, Y., Worldwide epidemic of obesity: hope for Japanese diets. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.*, **31**, S2-S4 (2004).
- 2) 科学技術学術審議会資源調査分科会, 豆類, 「日本食品標準成分表 2010」(文部科学省), (2010).
- 3) 喜多村啓介編, タンパク質の機能性, 「大豆のすべて」, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 154-169 (2010).
- 4) The Code of Federal Regulations, Title 21: Food Labeling. 101.82 Health claims: Soy protein and risk of coronary heart disease (CHD), United States.
- 5) Samoto, M., Maebuchi, M., Miyazaki, C., Kugitani, H., Kohno, M., Hirotsuka, M., and Kito, M., Abundant proteins associated with lecithin in soy protein isolate. *Food Chem.*, **102**, 317-322 (2007).
- 6) Kohno, M., Hirotsuka, M., Kito, M., and Matsuzawa, Y., Decreases in serum triacylglycerol and visceral fat mediated by dietary soybean β -conglycinin.

- J. Atheroscler. Thromb.*, **13**, 247-255 (2006).
- 7) 喜多村啓介編, 脂質の機能性, 「大豆のすべて」, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 234-247 (2010).
 - 8) Ide, T., Murata, M., and Sunada, Y., Triacylglycerol and fatty acid synthesis in hepatocytes in suspension isolated from rats fed soybean phospholipid. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **58**, 699-702 (1994).
 - 9) Kaczmarczyk, M.M., Miller, M.J., and Freund, G.G., The health benefits of dietary fiber: beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism*, **61**, 1058-1066 (2012).
 - 10) Chen, W.J., Anderson, J.W., and Jennings, D., Propionate may mediate the hypocholesterolemic effects of certain soluble plant fibers in cholesterol-fed rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **175**, 215-218 (1984).
 - 11) 高橋太郎, 江頭祐嘉合, 真田宏夫, 綾野雄幸, 前田裕, 寺嶋正彦, ラットの成長, 消化性, 滞腸時間に及ぼす大豆食物繊維素材の影響, 日本栄養・食糧学会誌 **45**, 277-284 (1992).
 - 12) Zhan, S., and Ho, S.C., Meta-analysis of the effect of soy protein containing isoflavones on the lipid profile. *Am. J. Clin. Nutr.*, **81**, 397-408 (2005).
 - 13) Rimbach, G., Boesch-Saadatmandi, C., Frank, J., Fuchs, D., Wenzel, U., Daniel, H., Hall, W.L., and Weinberg, P.D., Dietary isoflavones in the prevention of cardiovascular disease —A molecular perspective. *Food Chem. Toxicol.*, **46**, 1308-1319 (2008).
 - 14) Tokede, O.A., Onabanjo, T.A., Yansane, A., Gaziano, J.M., and Djoussé, L., Soya products and serum lipids: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Br. J. Nutr.*, **114**, 831-843 (2015).
 - 15) (公財) 日本豆類協会, 「新豆類百科」, (東京) pp. 147-148 (2015).
 - 16) Rackis, J.J., Sessa, D.J., and Honig, D.H., Flavor problems of vegetable food proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **56**, 262-271 (1979).
 - 17) 小川正, 日本人の食物アレルギーの現状と対策—大豆アレルギーに対する研究の歩み—, 総合福祉科学研究, **1**, 77-90 (2010).
 - 18) 石黒貴寛, 凍り豆腐, 「大豆の栄養と機能性」, (シーエムシー出版, 東京) pp. 147-152 (2014).
 - 19) Takahashi, Y., and Konishi, T., Tofu (soybean curd) lowers serum lipid levels and modulates hepatic gene expression involved in lipogenesis primarily through its protein, not isoflavone, component in rats. *J. Agric. Food Chem.*, **59**, 8976-8984 (2011).
 - 20) 高橋陽子, 食品成分による肝臓と脂肪組織の脂質代謝制御機構, 食糧 **44**, 73-91 (2006).

- 21) Ishiguro, T., Tatsunokuchi, S., Mitsui, N., Kayahara, H., Murasawa, H., Konishi, Y., and Nagaoka, S., Cholesterol-lowering effect of kori-tofu protein and its high-molecular-weight fraction content. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **75**, 575-577 (2011).
- 22) Fujii, M., Fukui, T., and Miyoshi, T., Effect of freeze-dried soybean curd (tofu) on various bodily functions. *J. Med. Invest.*, **46**, 67-74 (1999).
- 23) 石黒貴寛, 池田亮一, 三ッ井陳雄, 熊谷正樹, 村澤久司, Yamamoto, M.A.O., 凍り豆腐の食後中性脂肪上昇抑制効果, *薬理と治療*, **40**, 915-919 (2012).
- 24) 高橋陽子, 石黒貴寛, 八巻幸二, 大豆食品の栄養成分がラットの脂質代謝に及ぼす影響, 第 68 回日本栄養・食糧学会大会講演要旨集, p. 221, 北海道 (2014).

引用 URL

- i) 文部科学省, 「食品成分データベース」, <http://fooddb.mext.go.jp/> (2016 年 2 月 24 日確認)
- ii) アメリカ合衆国保険社会福祉省, 「食品表示ガイド」, pp. 165, <http://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/UCM254435.pdf> (2016 年 2 月 24 日確認)
- iii) 農研機構食品総合研究所, 「ニュートリゲノミクス機能性評価データベース」, <http://foodfunction.dc.affrc.go.jp/ja/> (2016 年 2 月 24 日確認)