麦類に含まれる食物繊維の栄養生理学的研究

青 江 誠一郎

大妻女子大学家政学部食物学科

Nutritional and Physiological Effects of Dietary Fiber in Oats and Barley

Seiichiro Aoe

Department of Food Science, Faculty of Home Economics, Otsuma Women's University

Oats and barley are rich in water-soluble dietary fiber which is mainly composed of β -glucan. This study evaluates the nutritional and physiological effects of the water-soluble dietary fiber, *cereal gum*, in oats and barley from animal and human experiments.

Effect of the water-soluble dietary fiber in oats and barley on the lipid metabolism in rats

The effects of ingested oat and barley gum on the plasma and liver lipid levels were examined in genetically obese and lean Zucker rats. Obese and lean male Zucker rats, aged 6 weeks, were fed for 34 days on a standard diet or on diets corresponding to 2% total dietary fiber. Both the oat and barley gum suppressed the liver lipid accumulation and elevation of the plasma cholesterol level in obese rats. The results of this animal experiment indicate that ingested oat and barley gum ameliorated fatty liver and hypercholesterolemia in obese Zucker rats.

Effects of oat and barley gum on the lipid metabolism in rats

The effect of various amounts of oat and barley gum added to the diet on the plasma and liver lipid levels was examined in cholesterol-fed rats. Male Sprague-Dawley rats, aged 5 weeks, were fed for 9 days on a diet containing the oat or barley gum corresponding to 0%, 1%, 2%, or 4% soluble fiber. The plasma triglyceride, liver cholesterol, and liver triglyceride levels were lower in the rats fed on the diets containing 1-4% oat gum and 2-4% barley gum than in the rats fed on the gum-free diet. The diet containing 4% oat gum increased the fecal excretion of total lipids. The fecal excretion of acidic steroids was higher from the rats fed on the diets containing 2-4% oat gum and 1% barley gum than from the rats fed on the gum-free diet. The results of this experiment indicate that the minimum amounts of oat and barley gum, which acted as lipid-lowering compounds, were respectively 1% and 2% of fiber in the diet.

Effect of oatmeal supplementation on the serum cholesterol levels in men with boundary and mild hypercholesterolemia

We examined the effect of oatmeal containing β -glucan on blood lipids and the safety of its long-term intake in men with boundary and hypercholesterolemia. A total of 48 men with boundary and mild hypercholesterolemia were assigned to three groups. Each group A subject was given four pieces of placebo cookies once a day for 12 weeks, each group B subject was given test oatmeal cookies containing oatmeal at 30 g/4 pieces, and each group C subject was given the same cookies containing oatmeal at 45 g/4 pieces. The serum total cholesterol level for group C with boundary hypercholesterolemia was significantly lower than that for group A or group C ($p < 0.05$). The results of this human trial indicate that supplementation with oatmeal at 45g/day (1.6g of β -glucan/day) decreased the serum total cholesterol level in men with boundary hypercholesterolemia.

Additional human trial with oatmeal porridge

An additional human trial with oatmeal porridge was examined; each subject in the oatmeal group was given oatmeal porridge containing 45g of oatmeal (1.6g of β -glucan) once a day for 12 weeks, and the control group subjects were given control porridge containing white rice and cellulose as the substitute for oatmeal. The level of serum total cholesterol in the oatmeal group was significantly lower than that in the control group throughout the ingestion period ($p < 0.05$). This additional human trial indicates that oatmeal containing β -glucan could modulate the

本論文は、平成 19 年度（第 54 回日本栄養改善学会学術総会）学会賞受賞対象の研究である。

（連絡先：青江誠一郎 〒102-8357 千代田区三番町 12 大妻女子大学家政学部食物学科 電話・FAX 03-5275-6048

E-mail s-aoe@otsuma.ac.jp)

level of serum total cholesterol.

Effect of oatmeal supplementation on the serum cholesterol levels in adults with boundary and mild hypercholesterolemia

This study examined the effect of oatmeal on the serum cholesterol levels in Japanese adult men and women with boundary and mild hypercholesterolemia. Seventy-four men and nineteen women were randomly assigned to either the placebo or oatmeal group for 12 weeks of treatment. The oatmeal group was given daily oatmeal porridge containing 60g of oatmeal (2.1g of β -glucan), and the placebo group was given porridge containing white rice and cellulose as the substitute for oatmeal. The serum total cholesterol level for the oatmeal group was significantly lower throughout the supplementation period ($p < 0.05$) than for the placebo group, the same effect also being observed in the non-HDL cholesterol levels. This human trial indicates that supplementation with oatmeal at 60g/day (2.1g of β -glucan/day) was the optimal dosage and safely decreased the serum cholesterol levels in Japanese adults with boundary and mild hypercholesterolemia.

*

These results indicate the nutritional importance of formulating a diet containing oats or barley in order to optimize health and counteract the risk factors for metabolic syndrome in an aging population.

Jpn. J. Nutr. Diet., 66 (6) 311 ~ 319 (2008)

I. 研究の背景

NCEP (National Cholesterol Education Program) や WHO (世界保健機構) が、メタボリックシンドロームという病態の概念を発表したことにより注目を集めている。本症候群は、ただ単なる多数の因子が偶然集積したものではなく、その上流に内臓脂肪蓄積が成因基盤として存在することが明らかとなっている。我が国における診断基準が2005年4月に策定され、その中で腹部肥満（内臓脂肪蓄積）が必須項目として存在し、高血圧、脂質代謝異常、高血糖のうち2項目以上の因子が当てはまる場合をメタボリックシンドロームと診断することになった。メタボリックシンドロームが強い動脈硬化の成因基盤となることから、死因の1/3を占める心臓病や脳卒中の予防には、内臓脂肪蓄積の抑制ならびに高血圧、脂質代謝異常、高血糖の改善が必要である。

そのような背景の中、改めて食物繊維の役割に大きな関心が集まっている。食物繊維とは、「人の消化酵素によって消化されない食物中の難消化性成分の総体」のことをいう。食物繊維の分類法は様々であるが、水溶性と不溶性、発酵性と非発酵性などの性質に分類される。近年では、レジスタントスターチと呼ばれる消化酵素に抵抗性のデンプンや様々な重合度の難消化性オリゴ糖も含めるため、栄養生理作用を論ずるには性質や組成の詳細が求められる。

日本人の食物繊維摂取量は戦後直後には現在推奨されている目標摂取量をほぼ摂取していたが、その後、特に高度経済成長期における食生活の変化に伴って大幅に低下した。平成17年国民健康・栄養調査報告によると、現在の日本人の平均的な食物繊維摂取量は1日15.2gであり¹⁾、欧米諸国と比べて高いとはいえない。

食物繊維摂取量低下の原因は、穀物からの摂取の減少によるところが大きい²⁾。すなわち、穀物摂取量の低下、精白度の向上、雑穀類消費の低下などが原因となっている。

本研究では、穀物の中で可食部に食物繊維が多く含まれる麦類に着目した。特に、オーツ（燕麦）と大麦は他の穀物に比べて、 β -グルカンを主体とする水溶性食物繊維を多く含む点に特徴がある。オートミールはミネラルや食物繊維が豊富なオーツを調理して乾燥させた食品で、水や牛乳とともに加熱し、適宜味付けを行って粥状にして食べられている。オートミールは、欧米では、コレステロール低下作用をもつ食品として、既に多くの研究がなされている。また、その生理効果の主体は、水溶性食物繊維の一種である β -グルカンであると推定されている。1997年には心疾患のリスク低減のヘルスクレームが、米国食品医薬品局（FDA）により許可されている。しかし、オートミールまたはオートミール由来の β -グルカンの血清コレステロール値への影響を調べた報告は、欧米人を対象とした例が多く、オートミールまたは β -グルカンが、日本人の血清コレステロール値に及ぼす影響を調べた報告はわずかである。

大麦の有効性については、かつて柳沢ら³⁾が糖尿病患者に摂取させると、血糖値の上昇が精白米に比べて緩慢になることを示した。その後、佐藤ら⁴⁾も同様の実験を行い、大麦摂取後の血糖値と血中インスリンの上昇が特に糖尿病患者で顕著に抑制されることを明らかにした。また池上ら⁵⁾によると、大麦は糖尿病患者の治療食として用いた場合に、糖代謝の改善が期待されることを示した。FDAは、オーツ又はオオバコからの水溶性食物繊維の摂取が心臓病の危険因子を減らすかもしれないというヘルスクレームを許可したが、

2006 年になって大麦も同様の作用があることを認めた。

このような研究背景の中で、麦類の食物繊維の水溶性画分（ガム質）に着目し、長年にわたり基礎研究を重ねるとともに、日本人における麦類摂取の有効性を検討してきたのでここに紹介したい。

Ⅱ. オーツ、大麦中の水溶性食物繊維が ラットの脂質代謝に及ぼす影響

オーツならびに大麦中の β -グルカンの効果を検証する目的で動物実験を行った。オーツならびに大麦からガム質画分を抽出・精製し、遺伝性肥満 Zucker ラット (obese ラット) ならびに同系で肥満を生じない正常ラット (lean ラット) に摂取させて、脂質代謝に及ぼす影響について比較した⁶⁾。調製したオーツガム質ならびに大麦ガム質の分析の結果、それらは非デンプン性のグルカンで構成されていた (表 1)。両者の比較をみると、オーツガム質の方が、大麦ガム質よりも β -グルカン含量が高いことが推定された。一方、大麦ガム質は、アラビノースとキシロースからなるアラビノキシランを比較的多く含んでいることが認められた。

表 1 大麦およびオーツガム質の組成 (%)

	大麦ガム質	オーツガム質
タンパク質	8.0	4.7
灰分	8.8	9.7
総食物繊維	66.8	67.7
グルコース	38.4	60.5
アラビノース	11.6	3.9
キシロース	16.8	3.3

動物実験の結果、標準飼料を摂取させた遺伝性肥満 Zucker ラットは、正常ラットに比べて、高脂血症ならびに肝臓の肥大および脂質蓄積、腹腔内脂肪の蓄積が観察された。オーツガム質ならびに大麦ガム質を摂取させた遺伝性肥満 Zucker ラットは、正常ラットに比べて、肝臓中の脂質蓄積 (図 1)、ならびに血漿総コレステロール濃度の上昇 (図 2；オーツガム質のみ有意差を検出) をそれぞれ抑制した。各ガム質が正常ラットの血漿総ならびに肝臓脂質濃度に及ぼす影響は、遺伝性肥満 Zucker ラットよりも小さかった。このことより、オーツガム質ならびに大麦ガム質は、遺伝性肥満 Zucker ラットの脂肪肝の発生ならびに血漿総コレステロール濃度の上昇を抑制するなどの、肥満に伴う症状を緩和することが認められた。

次に、ラットの脂質代謝改善に有効な穀物ガム質の最少食物繊維添加量をオーツと大麦で比較するために、オーツならびに大麦からガム質を抽出・精製して、高コレステロール飼料に食物繊維として 1, 2, 4 % の 3 水準添加し、SD ラットに摂取させて、各ガム質添加群の血漿および肝臓脂質に及ぼす影響をガム質無添加群 (0 % 群) と比較した⁷⁾。その結果、オーツガム質を 1 % 以上添加した群と大麦ガム質を 2 % 以上添加した群は、血漿トリグリセリド濃度 (図 3)、肝臓コレステロール、肝臓トリグリセリド蓄積量 (図 4) を低下させた。出納試験の結果、オーツガム質 4 % 群は、総脂質の排泄量が有意に多かったが、大麦ガム質では有意差が検出されなかった。オーツガム質を 2 % 以上添加した群と大麦ガム質を 1 % 以上添加した群は、糞中への胆汁

図 1 大麦、オーツのガム質画分が遺伝性肥満Zuckerラットの肝臓脂質蓄積に及ぼす影響

エラーバーは標準偏差を表す。

*対照群と比べて有意差あり ($p < 0.05$)。

酸排泄量が増加した。一方、中性ステロールの排泄促進作用は認められなかった。以上の結果、コレステロール摂取ラットの脂質代謝を改善する穀物ガム質の最少食物繊維添加量は、オーツガム質では1%、大麦ガム質では2%と推定した。両穀物の有効量の差は、調製したガム質の β -グルカン量によるものと考えられる。これらの作用は胆汁酸代謝を介したものと推定されたが、全てのメカニズムが解明されてはいない。さらに、オーツと大麦の食物繊維の不溶性画分と水溶性画分をそれぞれ調製し、ラットを用いた同様の実験を行った結

図2 大麦、オーツのガム質画分が遺伝性肥満Zuckerラットの血漿総コレステロール濃度に及ぼす影響
エラーバーは標準偏差を表す。

*対照群と比べて有意差あり ($p < 0.05$)。

果、有効性は水溶性画分に認められることを確認した⁸⁾。

Ⅲ. オーツを含む食品が境界域および軽度高コレステロール血症者の血清総コレステロール値に及ぼす影響^{9, 10)}

1. 実験の概要

健康な日常生活を営む者の中から20～60歳の男性で、試験開始前の検査で総コレステロール値が180mg/dl以上260mg/dl未満の者を選択した。試験開始にあたり選択された被験者は51名であった。試験に直接参加しないコントローラを、被験者背景において3群(プラセボ群、オートミール30g配合群、オートミール45g配合群)に差のないよう無作為に割り付けた。脱落基準に従い、検討の対象となった有効対象者数は男性48名であった。オートミールの配合量およびプラセボとの区別が全くつかないようにするため、本実験では、クッキーの形態を試験食とした。クッキーは、一般的な生地配合にオートミールを4枚あたり0g、30g、45gとなるように配合した。クッキー1枚の重量は約69gとなり、外観上および味の点で全く区別がつかない形態とした。各試験クッキーに含まれる β -グルカン量はそれぞれ4枚あたりプラセボクッキー0.0g、オートミール30g配合クッキー1.0g、オートミール45g配合クッキー1.6gであった。摂取前に2週間の観察期間の後、プラセボ群、オートミール30g配合群、オートミール45g配合群には、該当するクッキーをそれぞれ1日1回任意の時間に12週間摂取させた。各試験クッキーとも1日1回で4枚摂取させた。被験者には試験期間中、試験用に提供されたクッキー以外に血清脂質値に影響を

図3 大麦、オーツのガム質画分がコレステロール負荷ラットの血漿脂質濃度に及ぼす影響

●—● 大麦ガム質添加群 ◆—◆ オーツガム質添加群

エラーバー標準偏差を表す。

*0%群と比べて有意差あり ($p < 0.05$)。

図4 大麦、オーツのガム質画分がコレステロール負荷ラットの肝臓脂質蓄積に及ぼす影響

●—● 大麦ガム質添加群 ◆---◆ オーツガム質添加群

エラーバーは標準偏差を表す。

*0%群と比べて有意差あり ($p < 0.05$)。

与えることを標榜する食品の摂取を原則として禁止した以外、日常生活については変えることのないよう指示し、非日常的な暴飲暴食を避けるよう指導を行った。摂取12週間後の観察期間は4週間とした。

観察期間前（観察前）、観察後の摂取期間直前（摂取前）、摂取4週間後、摂取8週間後、摂取12週間後、摂取12週間後の観察期間後（観察後）の6回、血液検査を実施した。摂取4、8、12週間後の検査は、翌週の1週間以内に検査を行うこととした。血液検査は、一般的な血球成分、血清脂質、血清生化学分析を行った。また、観察前、摂取前、摂取4週間後、摂取8週間後、摂取12週間後、観察後の6回、体重、BMI、体脂肪率、腹囲の測定を行った。試験期間中の食事による栄養素摂取量については、各検査直前の3日間の食事記録について、五訂増補日本食品標準成分表（以下、五訂増補食品成分表）に基づき管理栄養士により栄養素等摂取量を計算した。また、運動量については万歩計により、検査前3日間の運動量を測定した。

2. 実験結果の概要

摂取前および摂取期間中の飲食による1日あたりの総摂取エネルギー量、タンパク質、脂質、炭水化物、コレステロール摂取量において、群間に有意な差を認めなかった。一方、食物繊維摂取量は、オートミール45g配合群において、摂取期間中プラセボ群に比べて有意に食物繊維摂取量が増加した。各群とも食物繊維負荷の影響を除いてクッキー4枚を摂取したときの栄養素等摂取量の前後で大きな変動は認められず、コントロールされた食生活において試験が実施されたことが確認された。万歩計を用いた運動量の測定でも、群間

図5 摂取12週間後の境界域層の血清総コレステロール値

エラーバーは標準偏差を表す。

*プラセボ群と比べて有意差あり ($p < 0.05$)。

あるいは各期間において有意な差を認めなかった。

血清総コレステロール値は、境界域（総コレステロール値が180～219mg/dl）と軽度高コレステロール血症（総コレステロール値が220～260mg/dl）の二層に分かれたため、解析は層別に行った。その結果、オートミール45g配合群では、境界域層において、摂取前の血清総コレステロール値の平均が206mg/dlから摂取12週間後186mg/dlと低下し、境界域層におけるプラセボ群とオートミール45g配合群との間に有意な差を認めた ($p < 0.05$, 図5)。しかしながら、オートミール45g配合群の軽度高コレステロール血症層では有意な変動は認められなかった。HDLコレステロール値と

図6 血清総コレステロール値の推移
 ○—○ プラセボ粥群
 ◆---◆ オートミール45g配合粥群
 エラーバーは標準偏差を表す。
 *プラセボ粥群と比べて摂取期間中有意差あり (反復測定データ解析; $p < 0.05$)。

トリグリセリド値は、全期間を通じて各群とも有意な変動は認められなかった。なお、12週間の摂取期間中、本試験品によると思われる副次作用の発現は、一切認められなかった。

本試験において、オートミール 45g (β -グルカンとして 1.6g) を含有するクッキーは、摂取 12 週間後において境界域の被験者の血清総コレステロール値を低下させた。オートミールの有効摂取量を調べた本成績は、日本人の試験成績では初めての成績と考えられる。しかしながら、軽度高コレステロール血症層では効果が確認できなかったこと等から、被験者の背景因子をさらに考慮した追試験が必要と考えられた。

3. 追試験

クッキーを用いた試験結果より、オートミール摂取の有効性について、オートミール 45g (β -グルカンとして 1.6g) 摂取の有効性を調べることにした。オートミールの調理法にはクッキーなどの焼き菓子とするほかに、ポリッジ (牛乳と砂糖を用いた粥) が知られているが、日本人の食生活を考慮して、好みの味付けが可能なレトルト粥の形態で摂取する試験を追試験として実施した。被験者は、血清総コレステロール値 177 ~ 263mg/dl の日本人男性 36 名とした。二重盲検法により 1 群 18 名の 2 群に分け、オートミール 45g を含むレトルト粥または、セルロースを配合して食物繊維量を同一にした白米を含むレトルト粥を 1 日 1 食ずつ 12 週間摂取させた。

その結果、図 6 に示すように、摂取期間中、オートミール 45g 配合粥群の血清総コレステロール値はプラ

セボ粥群に比較し、有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。その他の生理学的検査、生化学検査、自覚症状の検査結果から、オートミール摂取による異常は認められなかった。オートミール 45g の摂取は、日本人の血清総コレステロール値に影響を及ぼす下限値であると考えられた。なお、米国人において、血清総コレステロール濃度を低下させる量は、 β -グルカンとして 3g 以上と報告されている¹¹⁾。

IV. オーツを含む粥の摂取が境界域および軽度高コレステロール血症者の血清総コレステロール値に及ぼす影響¹²⁾

1. 実験の概要

前述の試験結果より、有効性を詳細に調べるために摂食可能な範囲においてオーツの摂食量を増やし、被験者数を増やした実験を行った。健康な日常生活を営む者の中から 20 ~ 64 歳の男性 80 名、女性 20 名を募集した。試験開始前の検査で総コレステロール値が 200mg/dl 以上 260mg/dl 未満かつ LDL コレステロール値が 120mg/dl 以上 180mg/dl 未満の範囲の者を選択した。試験開始にあたり選択された被験者は 102 名であった。試験に直接参加しないコントローラが、被験者背景において 2 群 (プラセボ群、オートミール群) に差のないよう無作為に割り付けた。脱落基準に従い今回、検討の対象となった有効対象者数は男性 74 名、女性 19 名であった。各群間で、年齢、体重、BMI、血清脂質検査において有意な差を認めなかった。試験の実施に際しては、治験審査委員会の承認のもとに行われ、ヘルシンキ宣言に従い、被験者に対しては研究内容、方法などについて医師より十分な説明を行い文書による同意を得て実施した。

本試験では、オートミール 60g 配合粥 (β -グルカン 2.1g) を試験食とした。一方、プラセボ食は、オートミールの代わりに白米を用い、食物繊維量を同一にするためにセルロースを配合した。また、食感ならびに外観を区別できなくするために少量の加工デンプン、およびカラメル色素を配合して調製した。摂取前に 2 週間の観察期間の後、プラセボ群、オートミール群には、該当する粥を、原則として 1 回の食事で摂取することとし、分割して摂取した場合もしくは残食した場合にはその旨を食事記録に記載するように指導した。試験食品の摂取にあたっては、被験者に対して、オートミール食またはプラセボ食に約 300ml のお湯を加え 2, 3 分間蒸らした後に食するように指導した。なお、予め両試験群の被験者に粉末スープを配布し、好みに応じて使用してもらった。被験者には試験期間中、試験用に提供された試験食以外に血清脂質値に影響を与える

図7 血清総コレステロール値の推移

○—○ プラセボ群 ◆—◆ オートミール群
エラーバーは95%信頼区間を表す。

*4～12週目においてプラセボ群と有意差あり（反復測定データ解析； $p < 0.05$ ）。

ことを標榜する食品の摂取を原則として禁止した以外、日常生活については変えることのないよう指示し、非日常的な暴飲暴食を避けるよう指導を行った。摂取終了後の観察期間は4週間とした。今回、被験者に対しては、コントローラが試験食の割付管理を行い、被験者および検査に参加する医師・医療関係者には、いずれの試験食であるかの情報は提供されなかった。

摂取直前（摂取前）、摂取4週間後、摂取8週間後、摂取12週間後、摂取後の観察期間後（観察後）の5回、血液検査を実施した。血清脂質検査、血球成分と生化学検査を行った。また、レムナント様リポタンパク（RLP）-コレステロール、アポリポタンパク（A-I, A-II, B, C-II, C-III, E）、リポタンパク（a）、インスリンは摂取前後のみ測定した。試験期間中の食事による栄養素等摂取量については、各検査直前の3日間の食事記録について、五訂増補食品成分表に基づき管理栄養士により計算した。また、運動量については万歩計により、検査前3日間の運動量を測定した。

2. 実験結果の概要

摂取前および摂取期間中の飲食による1日あたりの総摂取エネルギー量、タンパク質、脂質、炭水化物、コレステロール、食物繊維摂取量において、群間に有意な差を認めなかった。万歩計を用いた運動量の測定は、群間あるいは摂取前と摂取期間中の比較において有意な差を認めなかった。試験期間中における血清総コレステロール値の平均値の推移に関して図7に示す。血清総コレステロール値は、検定の多重性を考慮して反復測定データ解析を行った結果、摂取期間4～12週目において時点×群の交互作用が有意とならなかった。

また、性差に有意差が認められなかった。そこで、全被験者において群間の平均的な反応の差を検定した結果、オートミール群がプラセボ群に比べて摂取期間を通じて有意に低いことが認められた（ $p = 0.035$ ）。また、副次的な検定として摂取前値との比較を群ごとに対応のある t -検定により解析した結果、オートミール群において4週目、12週目で有意な低下、8週目では低下傾向（ $p = 0.065$ ）が認められた。一方、プラセボ群は摂取前と有意な変動は認められず、試験期間中に変化しなかったものと考えられた。non-HDL コレステロール値については、オートミール群では血清総コレステロール値の推移と同様の変化を示し、摂取前に比べて4週目より有意に低下し、以後低下作用が12週目まで継続し、観察後に摂取前値と差が認められなくなった。血清生化学に関する検査値は、両群とも摂取期間中、摂取前との比較において、いずれの変動も一過性あるいは正常値範囲内の変動であり、個別にみた場合においても、肝機能検査値、腎機能検査値、および電解質バランスにおいて、異常変動を示した例は認めなかった。12週間後のアポリポタンパクE値は、オートミール群がプラセボ群に比べて有意に低かった。摂取前値との比較では、オートミール群のRLP-コレステロール、アポリポタンパクC-II, C-III, E値が有意に低下した。

本結果より、オートミールとして1日あたり60g、 β -グルカンとして2.1gの摂取は境界域および軽度高コレステロール血症の日本人成人において効果が期待できる量であると考えられる。血清総コレステロール値からHDLコレステロール値を差し引いた、non-HDLコレステロール値をみると、血清総コレステロール値の推移と類似していた。したがって、血清総コレステロール値の変動は、non-HDLコレステロール値の変動によるものと考えられる。non-HDLコレステロールは、肝臓で分泌されたVLDL、VLDLがリポタンパク質リパーゼによって分解されたIDL、ならびに肝性トリグリセライド分解酵素によりさらに代謝されたLDL中のコレステロールの総体を指す。本結果から、non-HDLコレステロール値は、オートミール群においては摂取前値に比べて、摂取期間中は有意に低下し、4、8週目では群間差も認められた。さらに、摂取12週目のリポタンパク質画分を比較すると、LDLコレステロールや β -リポタンパク値に差は認められず、むしろRLP-コレステロールならびにRLP-コレステロールと強い相関を示して変動するアポリポタンパクC-II, C-III, E値に変動が認められた。RLP-コレステロールは、VLDLやキロミクロンなどのリポタンパク質が、リポタンパク質リパーゼによって分解され生じる中間代謝産物

であり、先述の non-HDL コレステロール値の変動は、一部は RLP-コレステロール値の低下を反映した可能性が考えられる。アポリポタンパク E も、キロミクロンやレムナントの量を反映することから、non-HDL コレステロールの変動と関連していると考えられる。

3. 作用機序について

オートミールの血清総コレステロール低下作用に関しては、これまでに多くのヒトを対象とした試験が実施されている¹³⁻¹⁶⁾。対象とする被験者によって有効摂取量には差異があるものの、オートミールに含まれるβ-グルカンがヒトの血清総コレステロール値を低下させることに関しては一定の結論が得られていると考えられる¹¹⁾。有効摂取量が報告によって異なることについては、生活習慣が異なる被験者が参加するため、母集団の遺伝的な背景、食習慣、および運動量などが試験結果に影響した可能性、また、β-グルカンの作用が薬物とは異なって穏やかであり、有効性を確認するためにはかなりの被験者数を確保しなければならないことなどが考えられる。

オートミールによる血清総コレステロール低下作用の機序は、食餌性のコレステロールの排泄促進よりはむしろ、糞便中への胆汁酸の排泄量が増加することによると考えられている^{17, 18)}。胆汁酸の排泄量増加の結果、肝臓におけるコレステロールから胆汁酸への代謝が促進されることで肝臓のコレステロールプールが減少し、結果として血中へのコレステロールの分泌が減ることが一因であると推定されている¹⁹⁾。ステロール類の排泄促進による血清総コレステロール低下作用の機序は、これまでに報告されているいくつかの水溶性食物繊維の作用機序と類似する。

V. 今後に向けて

これまでの、血清総コレステロール低下作用を中心とした脂質代謝改善作用と麦類の食物繊維摂取の関係を研究してきたが、今後はメタボリックシンドロームに対する予防効果の主要メカニズムを決めていくことが重要と考える。これまでに、我々は麦類の食物繊維は実験動物において脂質代謝改善作用に加えて脂肪組織重量や脂肪細胞のサイズに影響を与えることを見出してきた。さらに、近年の脂質代謝の分子メカニズム研究から、内臓脂肪と、消化管—血管—肝臓が強く関連しており、これまで考えられてきた食物繊維の消化管内での直接的な作用のほかにも機能が存在する可能性も考えられ、さらなる研究が必要である。我々の研究グループでは、β-グルカン含有大麦を用いて、軽度高コレステロール血症者を対象にした介入試験結果を近年報告した²⁰⁾。大麦が血清 LDL コレステロール値

低下作用を有することに加えて、内臓脂肪、腹囲、BMI の低下が認められ、メタボリックシンドロームの予防効果を有する可能性が期待される。今後、メカニズムの解明が急務であり、麦類のどのような成分あるいは特性が機能発現に寄与しているのかの解明が待たれる。消化管内での作用だけでは説明できない現象も多く報告されており、消化管ホルモン応答を介した研究が重要であろう。特に、インクレチンと総称される GIP (グルコース依存性インスリン分泌刺激ホルモン) と GLP-1 (グルカゴン様ペプチド 1) は、糖尿病をはじめとした糖代謝関連の研究で食物繊維摂取の関与が報告されている。食物繊維摂取が消化管ホルモン分泌に及ぼす影響の詳細については未解明であるが、脂肪細胞への作用、インスリン応答の調節などは、消化管ホルモンの分泌調節により説明できるかもしれない。

本研究結果は、日本人の男女においても麦類由来の食物繊維摂取の有効性を裏付けた結果となった。今後脂質代謝のみならず、内臓脂肪型肥満を原因とするメタボリックシンドロームの予防に向けた研究へ発展させ、食物繊維の豊富な穀物の摂取の重要性を再認識し、食生活の改善の一助となれればと考えている。

謝

辞

本研究の成果は、恩師である千葉大学名誉教授・綾野雄幸先生、同大学大学院教授・真田宏夫先生、大妻女子大学教授・池上幸江先生をはじめとする共同研究者の諸先生、雪印乳業株式会社技術研究所ならびにサッポロビール株式会社の研究員の皆様方による多大なご指導・ご協力のもとに得られたものである。ここに感謝申し上げます。

文

献

- 1) 健康・栄養情報研究会編：国民健康・栄養の現状—平成 17 年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より—, pp.66-67 (2008) 第一出版, 東京
- 2) 池上幸江：日本人の食物繊維摂取量の変遷, 日本食物繊維研究会誌, 1, 3-12 (1997)
- 3) 柳沢文正, 小笠原公：強化精麦の生化学的研究 (1) 米・麦摂取の血糖値に及ぼす影響, 栄養と食糧, 19, 46-49 (1966)
- 4) 佐藤寿一, 大沢 功, 服部温子, 押田芳治, 佐藤祐造：食物繊維の糖代謝に及ぼす影響—健常者及び糖尿病患者を対象として—, 総合保健体育科学, 13, 75-78 (1990)
- 5) 池上幸江, 土橋文江, 中村カホル, 印南 敏：ラットにおける実験的糖尿病に対する大麦の効果, 日本栄養・食糧学会誌, 44, 447-454 (1991)

- 6) 小田泰士, 青江誠一郎, 真田宏夫, 綾野雄幸: オーツガム質ならびに大麦ガム質の摂取が遺伝性肥満ならびに正常 Zucker ラットの血漿および肝臓脂質濃度に及ぼす影響, 日本栄養・食糧学会誌, **44**, 455-460 (1991)
- 7) 小田泰士, 青江誠一郎, 真田宏夫, 綾野雄幸: ラットの脂質代謝に及ぼすオーツガム質ならびに大麦ガム質の影響, 日本栄養・食糧学会誌, **46**, 147-153 (1993)
- 8) Oda, T., Aoe, S., Sanada, H. and Ayano, Y.: Effects of soluble and insoluble fiber preparations isolated from oat, barley, and wheat on liver cholesterol accumulation in cholesterol-fed rats, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **39**, 73-79 (1993)
- 9) 青江誠一郎, 板垣康治, 畑本二美, 石井恵子, 小田泰士, 鈴木 豊, 鳥羽保宏, 藤田 孝, 木下さと子, 内田俊昭, 竹原 功, 近藤 敦: オートミール含有クッキーの摂取が境界域および軽度高コレステロール血症の日本人男性の血清コレステロール値に及ぼす影響: 有効性と安全性の検討, 日本食物繊維研究会誌, **7**, 26-38 (2003)
- 10) 鳥羽保宏, 畑本二美, 木下さと子, 内田俊昭, 小田泰士, 石井恵子, 青江誠一郎, 鈴木 豊, 藤田孝, 辻 秀一: オートミール粥の摂取が境界域および軽度高コレステロール血症の日本人男性の血清コレステロール値に及ぼす影響: 有効性と安全性の検討, 食物繊維研究会誌, **7**, 71-79 (2003)
- 11) Ripsin, C. M., Keenan, J. M., Jacobs, Jr. D. R., Elmer, P. J., Welch, R. R., Van Horn, L., Liu, K., Turnbull, W. H., Thye, F. W., Kestin, M., Hegsted, M., Davidson, D. M., Davidson, M. H., Dugan, L. D., Denmark-Wahnefried, W. and Beling, S.: Oat products and lipid lowering, *JAMA*, **267**, 3317-3325 (1992)
- 12) 青江誠一郎, 藤田 孝, 木下さと子, 内田俊昭, 須栗紀子, 鳥羽保宏, 辻 秀一, 平形道人, 大矢清: オートミール粥の摂取が境界域および軽度高コレステロール血症者の血清コレステロール値に及ぼす影響, 栄養学雑誌, **64**, 77-86 (2006)
- 13) Davidson, M. H., Dugan, L. D., Burns, J. H., Bova, J., Story, K. and Drennan, K. B.: The hypocholesterolemic effects of β -glucan in oatmeal and oat bran, *JAMA*, **265**, 1833-1839 (1991)
- 14) Anderson, J. W., Gilinsky, N. H., Deakins, D. A., Smith, S. F., O'Neal, D. S., Dillon, D. W. and Oeltgen, P. R.: Lipid responses of hypercholesterolemic men to oat-bran and wheat-bran intake, *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 678-683 (1991)
- 15) Poulter, N., Chang, C. L., Cuff, A., Poulter, C., Sever, P. and Thom, S.: Lipid profiles after the daily consumption of an oat-based cereal, *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 66-69 (1994)
- 16) Whyte, J. L., McArthur, R., Topping, D. and Nestel, P.: Oat bran lowers plasma cholesterol levels in mildly hypercholesterolemic men, *J. Am. Diet. Assoc.*, **92**, 446-449 (1992)
- 17) Judd, P. A. and Truswell, A. S.: The effect of rolled oats on blood lipids and fecal steroid excretion in man, *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 2061-2067 (1981)
- 18) Lia, Å., Hallmans, G., Sandberg, A.S., Sandburg, B., Åman, P. and Andersson, H.: Oat β -glucan increases bile acid excretion and a fiber-rich barley fraction increases cholesterol excretion in ileostomy subjects, *Am. J. Clin. Nutr.*, **62**, 1245-1251 (1995)
- 19) Anderson, J. W. and Chen, W. L.: Cholesterol-lowering properties of oat products, *Oats, Chemistry and Technology*/Webster, F.H. ed., pp.309-333 (1986) The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul
- 20) Shimizu, C., Kihara, M., Aoe, S., Araki, S., Ito, K., Hayashi, K., Watari, J., Sakata, Y. and Ikegami, S.: Effect of high β -glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men—a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial, *Plant Foods Hum. Nutr.*, **63**, 21-25 (2008)