トランス酸に関する最近の話題 —国際的な動向と国内の現状について—

永田 純一

(独立行政法人国立健康・栄養研究所 食品保健機能プログラム食品分析プロジェクトリーダー)

Current topic on trans fatty acids —International trend on trans fatty acids and current situation in Japan—

Junichi Nagata

Food Function and Labeling Program, Incorporated Administrative Agency, National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama Shinjuku-ku Tokyo, 162-8636, Japan

〒162-8636 東京都新宿区戸山 1-23-1

Trans fatty acids (TFA) are positional isomers of cis fatty acids. TFA are mainly produced by partial hydrogenation of unsaturated fatty acids and widely found in a variety of foods, including margarines, shortening and frying oil. A small amount of TFA is also found in ruminant fats and milk. The amount of TFA intake in Western Europe and North America probably ranges from 5 to 15 g / day. Epidemiological studies have shown that the excessive consumption of TFA raises LDL-cholesterol and lowers HDL-cholesterol in humans. Therefore, high intakes of TFA are thought to be a risk factor of coronary heart disease. On the basis of the scientific evidence, the U.S. FDA required labeling of the TFA content in conventional food and dietary supplement on January 1, 2006. TFA intake in Japan is estimated to be approximately 0.7 to 1.3 g / day, the amount is markedly lower than that in western countries. Although the low TFA intake in Japan is not thought to be an important issue at present, we should pay attention to an excessive intake of TFA in the future.

はじめに

近年、欧米においてトランス型脂肪酸（以下トランス酸）過剰摂取と心疾患のリスク因子である血中脂質濃度（特に LDL-および HDL-コレステロール濃度）の関連性が多くの疫学研究によって明らかにされ、食品中トランス酸量の表示義務化や摂取量勧告などの対応が行われている。これまで心疾患の罹患率が高い国では、油脂の摂取量や摂取される油脂の質を中心に心疾患予防や心疾患リスク因子の改善に対する取り組みが行われてきたが、トランス酸も心疾患リスク因子として認識され始めた。海外での動向を反映して日本国内でもトランス酸に対する関心が高まっている。

今回、心疾患のリスク因子との関連性が指摘されているトランス酸（水素添加による加工油脂に含まれるもの）について、トランス酸の概要（トランス酸とはどんな脂肪酸なのか、トランス酸を含む食品など）や心疾患との

関連性、欧米諸国のトランス酸摂取状況や対策、また日本国内でのトランス酸摂取状況などについて最近の話題を紹介する。

脂肪酸の構造とトランス酸

脂肪酸は、飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸に分類される。不飽和脂肪酸の炭素間結合様式にはシス型とトランス型がある。これらの炭素にはそれぞれ水素原子が結合しているが、水素の結合方向が同じ向きのものをシス型、互い違いになっているものをトランス型という（図1）。トランス酸は、不飽和脂肪酸のうち二重結合の立体配位がトランス型になっているものの総称である。オレイン酸（9 c-18 : 1）の異性体であるエライジン酸（9 t-18 : 1）は代表的なトランス酸として知られている（図2）。

加工油脂中のトランス酸は、シス型脂肪酸が高温処理されることで生じる場合や水素添加による製造工程で生じる。この際に二重結合の転移も起こる。これらのトラ

図1 シス型およびトランス型結合様式

図2 シス型およびトランス型脂肪酸

ンス酸はマーガリンやショートニングなどの加工油脂中やこれらを用いて製造される食品に含まれる。この他に反芻動物の肉や乳あるいは脂肪中にも5%前後のトランス酸が含まれる。反芻動物由来のトランス酸は、第一胃内に存在するバクテリアによりシス型脂肪酸から生成される。代表的なトランス酸はバクセン酸(11t-18:1)であるが、近年、反芻動物の肉や乳脂肪中にわずかに含まれる共役リノール酸(CLA)の機能が注目を集めているが¹⁾、コーデックス委員会(The Codex Alimentarius Commission: Codex)では共役結合を有する脂肪酸はトランス酸に含まないと定義している。図3に示すようにC18:1のトランス酸も反芻動物に含まれるものと水素添加してできるものとはトランス型結合位置が異なり、工業的に生成したトランス酸と自然界のトラン

図3 トランス18:1酸の位置異性体の分布
(Molkentin J and Precht D. E. Ernährungswiss. 1995)

ス酸ではトランス酸の位置が異なることが明らかになっている²⁾。水添油脂と反芻動物由来トランス酸の生理活性は同じなのか？ また、代謝の相違はないのか？ これらに関する十分な知見は得られていない。

ちなみに水素を添加して作られる代表的な加工油脂であるマーガリンとショートニングは以下のように区別される。

マーガリン類：基本的に食用油脂に水等を加え乳化した後、急冷練り合わせまたは急冷練り合わせを行わないで作られた可塑性のもの又は流動状のものと定義され、油脂含有率(製品に占める食用油脂の重量割合)が80%以上のマーガリンと80%未満のファットスプレッドからなる。

ショートニング：植物、動物油脂を原料とした練り込み専用の固形油脂。水分や乳成分を含まず(品質規格で水分は0.5%以下)、ほぼ100%が油脂成分からなり、白色無味無臭である。

今日欧米諸国において心疾患との関連性が注目されているトランス酸は、加工油脂に含まれるトランス酸と考えられている。水素添加された油脂は、不飽和脂肪酸と比較して融点が上昇し酸化安定性などの物理化学的特性が向上するため老化しにくい油脂となる³⁾。加工油脂は、マーガリンだけでなくパン、ケーキ、菓子製造用あるいは調理用フライ油として様々な食品(ポテトチップス、フライドポテト、フライドチキン)に利用されており、日常生活で摂取する機会が多い。トランス酸摂取量が多い欧米諸国では、加工油脂技術の進歩と共に加工油脂中のトランス酸含量を減らす工夫も行われている。現在行われている主な方法を表1に挙げた。この中でも飽和脂肪酸を含む油脂をトランス酸の代わりに添加した油脂が利用されているが、飽和脂肪酸との置き換えによる飽和脂肪酸摂取量の増加は必ずしも望ましい方法とは言えない。特に、植物油由来の飽和脂肪酸を含むパーム油を代替として用いる場合があるが、パーム油はパルミチン酸を約40%程度含んでおり、Pedersen JJらが示した血清コレステロール濃度に及ぼす食事脂肪酸の影響予測式($\Delta \text{Total cholesterol (mmol/L)} = 0.01 \Delta \text{C12} + 0 + 0.12 \Delta \text{C14} + 0 + 0.057 \Delta \text{C16} + 0 + 0.039 \Delta \text{trans F} + 0.031 \Delta \text{trans V} - 0.0044 \Delta \text{C18:1} - 0.017 \Delta (\text{C18:2}, \text{C18:3})$; trans Fは硬化魚油, trans Vは部分水素添加大豆油)⁴⁾から考えるとパルミチン酸摂取の増加は、トランス酸摂

表1 トランス酸の低減あるいは除去の取り組み

1. 水素添加法の改良
2. 分別
3. エステル交換
4. プレンジング
5. 遺伝子組み換え操作
6. エマルジョン法
7. 1～6の組み合わせ

取と同等以上のコレステロール濃度の上昇に寄与することが分かる。また WHO も心疾患との関連から飽和脂肪酸摂取量の増加に注意を促していることから必ずしも適切な代替法とは言えない。

トランス酸の生理学的影響

トランス酸は飽和脂肪酸と類似の生理効果を示すと考えられている。トランス酸の過剰摂取は、血清 LDL コレステロール濃度上昇や HDL コレステロール濃度の低下、Lp (a) の増加⁵⁾、トリグリセリド (中性脂肪)⁶⁾や血管内皮への影響⁷⁾など様々な心疾患のリスク因子に影響することが疫学研究によって報告され、これらはトランス酸摂取量に依存的であることが示されているが、トランス酸によるコレステロール代謝メカニズムの解明には至っていない。

Zock らは、ヒトにおけるトランス酸摂取量とリポタンパク質コレステロール濃度との相関性を調べ、トランス酸摂取量の増加に伴い、LDL コレステロール濃度は正の相関を示し、HDL コレステロール濃度は負の相関を示すことを明らかにしている⁸⁾ (図 4)。また、トランス酸の過剰摂取は、動脈硬化症のリスク指標である LDL/HDL 比にも影響を及ぼす。Ascherio らは同じカロリーの飽和脂肪酸あるいはトランス酸を摂取した場合、トランス酸の LDL/HDL 比は、飽和脂肪酸の値より約2.5倍大きくなることを示した⁹⁾。このようにトランス酸を過剰摂取した場合、同じカロリーの飽和脂肪酸よりも心疾患のリスク因子に影響を及ぼすことが示唆されている。

また欧米において総勢145,000人を対象に6～14年の追跡調査を実施した4つの大規模研究 (Health Professionals' Follow-up Study, Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study, Nurses' Health Study, Zutphen Elderly Study) から、トランス酸摂取と心疾患リスクとの相関性が示され、トランス酸摂取量が2% (エネルギー比) 増加すると心疾患リスクが1.25倍に増加するとしている。

しかし一方で、トランス酸による血漿コレステロール濃度上昇作用は、総脂質摂取量を減らすよりもむしろオレイン酸やリノール酸に置き換える方が効果的に抑制され、リノール酸摂取量が多いほどコレステロール濃度の上昇は抑制されることが報告されており、トランス酸の生理的効果は、同時に摂取される油脂の質や量によって影響される可能性が高い。Hu FB らはトランス酸および多価不飽和脂肪酸の摂取量と心疾患リスクの関係を示し、トランス酸の低い摂取量と多価不飽和脂肪酸摂取量の増加が、心疾患のリスクを低く抑えることを示唆している¹⁰⁾ (図 5)。彼らが示したそれぞれの摂取量は、トランス酸が低いカテゴリーで1.3エネルギー%、多価不

図 4 トランス酸摂取量とリポタンパク質コレステロール濃度の相関性 (Zock PL. et al. *N. Engl. J. Med.* 1999)

図 5 トランス酸および多価不飽和脂肪酸摂取と心疾患リスクの相関性 (Hu FB. et al. *N. Engl. J. Med.* 1997)

飽和脂肪酸の最も高いカテゴリーで6.4エネルギー%であった。日本人のそれぞれの摂取量は、トランス酸が0.3～0.6エネルギー%、多価不飽和脂肪酸がおおよそ10%といずれもさらに心疾患に及ぼす影響が低いカテゴリーに分類されると予測される。日本では欧米に比べ、リノール酸や魚油の摂取量が多い食事背景を考えれば、トランス酸の心疾患に及ぼすリスクはさらに軽減されると推定される。

トランス酸の摂取状況

トランス酸の摂取状況は、摂取する食事の聞き取り調査による積み上げ方式によって算出されたり消費される総脂質摂取量に占める割合から算出される。食品中のトランス酸含量の幅は非常に大きいため、摂取量のばらつきも大きくなる。欧米諸国では1997年以前の10～15年間におよぶ調査から、平均トランス酸摂取量はおよそ5～15g/日で総エネルギーの約2～5%と見積もられてい

る¹¹⁾⁻¹⁴⁾。

日本のトランス酸摂取状況は、これまで1日当たり平均摂取量は0.63gであり、摂取エネルギーの約0.3%から0.8%の範囲に相当すると考えられていた¹⁵⁾。また2007年6月に食品安全委員会から公表された日本人のトランス酸摂取量もエネルギー比0.3~0.6%で、いずれも日本人が摂取しているトランス酸量は欧米諸国の摂取量(5~15g/日)と比較して少なく、WHOが推奨する摂取目安量のエネルギー比1%以下となる。日本人におけるトランス酸摂取量から心疾患のリスクに及ぼす影響を推定するのは難しいと思われる。

トランス酸に対する諸国の対応

アメリカ：1990年11月栄養表示基本法の成立を受け、1993年よりコレステロール、飽和脂肪酸量が食品ラベルに表示されることが決まったが、この時点でトランス酸は表示義務の対象項目から外れた。しかし、1980年代より行われてきた多くの疫学調査の結果から、アメリカ食品医薬品安全局(FDA)は、トランス酸の過剰摂取がLDLコレステロール濃度の上昇とHDLコレステロール濃度の低下をもたらし、心筋梗塞をはじめとする心疾患のリスク因子に関連する食事成分であると判断し、2003年7月にトランス酸の表示を義務付ける規則が決定され、2006年1月1日より加工食品のトランス酸含量の表示義務化が施行された。この表示規則では、反芻動物に含まれるトランス酸も含めた値がラベル表示される。トランス酸過剰摂取による心疾患のリスク因子への影響を考慮し、トランス酸摂取量を総エネルギー摂取量の1%以下(約2g以下)にするよう勧告も行われた。

アメリカでは行政のみでなく民間企業もトランス酸摂取の低減に取り組んでいる。行政では、ニューヨーク市が2008年7月より市内のレストランからトランス酸を含むメニューを排除する方針を示し、他の都市も類似の方針を示している。ただしニューヨーク市の場合、トランス酸量が1サービング当たり0.5g以下のものはトランス酸フリーと見なされ販売することができる。一方民間企業での取り組みとして、ケンタッキーフライドチキンでは、フライドチキンを調理する油を水添硬化油からリノレン酸含量を低く抑えた遺伝子組み替え大豆油に置き換えた。また、スターバックスコーヒーも大都市の店舗を中心にマフィンやサンドウィッチなど全ての商品がトランス酸を含まないものになり、2007年内に全店舗からトランス酸を追放する方針である。

カナダ：原則として2005年12月より栄養成分の表示義務化において、トランス酸も表示対象としている。

EU：EUではアメリカと異なり、食品に水素添加してトランス酸を含む場合、含量ではなくトランス酸を含むことを表記しなければならない。

デンマーク：2004年1月より国内で販売する加工食品の油脂中トランス酸含有量を2%(重量比)までに制限

している(動物由来のトランス酸は除く)。従って、2%を超えるトランス酸を含む製品は販売できない。

オーストラリア・ニュージーランド：摂取量が総エネルギー比1%弱と少なく、現在のところ規制は予定されていない。

韓国・台湾：現在は規制を行っていないが、韓国では2007年12月にトランス酸、台湾で2008年1月に飽和脂肪酸とトランス酸の表示義務化を予定している。

またトランス酸に関する国際的な取り組みもCodexで行われているが、これまでのところトランス酸の定義のみ示されているが、表示等に関しては各国の事情をふまえた自主判断での対応を行うこととしている。

トランス酸に対する日本の現状

内閣府食品安全委員会は、2004年に「日本では、硬化油、乳、乳製品、肉、バター、精製植物油の摂取量を考慮して推計したトランス酸の摂取量は一日あたり平均1.56gとなっており摂取エネルギーの0.7%に相当する。諸外国と比較して日本人のトランス酸摂取量が少ない食生活からみて、トランス酸による健康への影響は小さいと考えられる。」との見解を示した。2007年6月にも日本人のトランス酸一日平均摂取量は摂取エネルギーの0.3~0.6%であると発表を行い、日本人は欧米と比較してトランス酸摂取量が低い現状であることを示している。これまでのところトランス酸に関する表示制度の確立や摂取量勧告などは予定されていない。

日本人における心疾患リスク因子への影響

これまで示したように、日本人のトランス酸摂取量は欧米諸国と比較して低い摂取量であることが明らかである。トランス酸摂取量の増加が心疾患リスク因子の増加をもたらす罹患率および死亡率と高い相関を示す疫学調査の結果は、トランス酸のエネルギー摂取量が約3%を超えた摂取量の時である。それ以下の摂取量における心疾患リスク因子への影響は明確に示されていない。食品安全委員会から出された日本人の推定トランス酸摂取量はおよそ0.3~0.6エネルギー%で、このように著しく低い摂取量からトランス酸の心疾患へのリスクを予測することは非常に難しい。

日本人に対するトランス酸摂取の影響を考慮する際に最も重要なことは、日本人の食事(日本型食生活)が欧米の食事(欧米型食生活)と脂質摂取量や摂取される脂質の量および質の点で大きく異なるということである。すなわち日本人は欧米人に比べ植物油からのn-6系脂肪酸や魚油からのn-3系脂肪酸の摂取が多く、欧米よりの脂質の摂取バランスに優れていると考えられる。植物油や魚油をトランス酸と併用摂取した場合、トランス酸の影響が軽減される可能性が大きいことを考慮すべきではないだろうか。しかし、このような食事背景にあって10代、20代におけるファーストフード嗜好性は憂慮す

べきである。欧米スタイルの食事は、総脂質摂取量の増加とトランス酸摂取量の増加をもたらすため、ファーストフード嗜好の習慣化は心疾患のリスク因子に及ぼす影響を大きくする。従ってトランス酸を含む食べ物を把握し日常の食事バランスを考慮した食事が大事になる。

ま と め

アメリカ FDA によるトランス酸の表示義務化が決定されて以来、我が国のみならず国際的にトランス酸摂取への関心が高まっている。我が国における脂質摂取状況は、油脂の質や摂取量において欧米諸国と大きく異なる背景があるが、最近の食品安全委員会のファクトシートでは「健康保護の観点から、今後とも、日本人（又は日本での）の摂取量や各摂取レベルにおける健康への影響等に関する国内外の新たな知見を蓄積して行くことが必要」との見解を示している。

日本人の食を取り巻く環境や嗜好性が欧米化し、加工油脂を用いて調理加工されたファーストフードやパン、スナック菓子などトランス酸を含む食品を摂取する機会を多く、容易にトランス酸摂取量が増加する食環境でもある。欧米のような過剰摂取を行えば、疾病リスクの上昇につながるため、日常の食生活におけるトランス酸の過剰摂取には注意を払う必要がある。

文 献

- 1) Nagao K, Yanagita T. Conjugated fatty acids in food and their health benefits. *J. Biosci. Bioeng.* 2005 ; **100** : 152-157.
- 2) Molkentin J, Precht D. Determination of trans-octadecenoic acids in German margarines, shortenings, cooking and dietary fats by AgTLC/GC. *Z. Ernährungswiss* 1995 ; **34** : 314-317.
- 3) 神村義則監修：〈新訂版〉食用油脂入門，日本食糧新聞社，東京，135-149（2005）
- 4) Pedersen JJ, Kirkhus B, Müller H. Serum cholesterol predictive equations in product development. *Eur. J. Med. Res.* 2003 ; **8** : 325-331.
- 5) Mensink RP, Katan MB. Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *N. Engl. J. Med.* 1990 ; **323** : 439-445.
- 6) Ascherio A, Katan MB, Zock PL, et al. Trans fatty acids and coronary heart disease. *N. Engl. J. Med.* 1999 ; **340** : 1994-1998.
- 7) de Roos NM, Bots ML, Katan MB. Replacement of dietary saturated fatty acids by trans fatty acids lowers serum HDL cholesterol and impairs endothelial function in healthy men and women. *Arterioscler Thromb. Vasc. Biol.* 2001 ; **21** : 1233-1237.
- 8) Zock PL, Mensink RP, Katan MB. Dietary trans fatty acids and lipoprotein cholesterol. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995 ; **61**, 617 (Letter).
- 9) Ascherio A, Katan MB, Zock PL, et al. Trans fatty acids and coronary heart disease. *N. Engl. J. Med.* 1999 ; **340** : 1994-1998.
- 10) Hu FB, Stampfer MJ, Manson JE, et al. Dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women. *N. Engl. J. Med.* 1997 ; **337** : 1491-1499.
- 11) Senti FR. Health aspects of dietary trans fatty acids. Federation of American Societies for experimental biology, Bethesda, 1-111 (1985).
- 12) British Nutrition Foundation's Task Force : Trans fatty acids. The British Nutrition Foundation, London, 5 - 7 (1987).
- 13) Enig MG, Atal S, Keeny M, et al. Isomeric trans fatty acids in the U.S. diet. *J. Am. Coll. Nutr.* 1990 ; **9** : 471-486.
- 14) Hunter JE, Applewhite TH. Reassessment of trans fatty acid availability in the U.S diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991 ; **54** : 363-369.
- 15) 岡本隆久，松崎 寿，丸山武紀他．国産硬化油中のトランス酸とその摂取量．日本油化学会誌，48 : 1411-1414 (1999)

本稿は，第34回研究集会における発題講演をまとめたものである。