

研究の動向

■ 食品の色に秘められた健康機能

～ポリフェノールとカロテノイドの摂取量調査から～

摂南大学 岸本 良美

1. はじめに

ポリフェノールやカロテノイドは食品に含まれる代表的な色素成分であり、食卓に彩りを添える役割を担っている。ポリフェノールは淡黄～茶褐色、赤色や紫色をはじめ幅広い色調を、カロテノイドは黄～橙～赤色の色調を呈する。色素成分であることにくわえて、ポリフェノールやカロテノイドには、抗酸化作用をはじめとする多様な生理機能を有するものが数多く知られている。1990年代の世界的な疫学研究において、ポリフェノールは主に冠動脈疾患予防の可能性、カロテノイドはがんや冠動脈疾患予防の可能性が報告され、現在に至るまで世界中で活発に研究が行われている。本稿では、著者らがを行っている日本人を対象とした摂取量調査の結果を中心に、ポリフェノールとカロテノイドの健康機能について概説する。

2. ポリフェノールとは

ポリフェノールは、植物が二次代謝物として合成するフェノール性の水酸基（-OH）を複数もつ化合物の総称で、同定されているものだけでも8,000種類を超えられている。構造上の特徴から、いくつかのグループに分けられるが、最も多いものがフラボノイド類である。緑茶に多いカテキン類や、たまねぎに含まれるケルセチン、ベリー類に多いアントシアニン類もこのグループに属する。その他、フェノール酸類、リグナン類、スチルベン類などがあり、それぞれ代表的なものとして、コーヒーに含まれるカフェ酸やクロロゲン酸、ゴマに特徴的

なセサミン、赤ワインのポリフェノールとして有名なレスベラトロールなどがあげられる（図1）。また、重合ポリフェノール類（加水分解型タンニン類や縮合型タンニン類）も存在する。

ポリフェノールは植物の葉や根、種子、果皮などに多く存在しており、植物性の食品の中でも特に緑茶やコーヒー、ワインといった飲料、野菜や果実に多く含まれる。緑茶やコーヒー、ワインは嗜好飲料として世界中で飲用されているが、これらの苦味や渋味は主にカテキンやタンニンなどのポリフェノールによってもたらされる。また、ベリー類に含まれるアントシアニン類の赤紫色や、カレーの主なスパイスであるターメリック（ウコン）に含まれるクルクミンの黄色など、食事に彩りを与える役割も果たしている。このようにポリフェノールには、世界中の食生活の中で広く活用されてきた歴史がある。

3. カロテノイドとは

カロテノイドは微生物、植物、動物に広く分布する脂溶性物質で、8個のイソプレレン単位が結合して構成された炭素数40の基本骨格を持つ。炭素と水素原子のみから構成されるカロテン類と、分子内に水酸基やケトン基などの酸素原子をもつキサントフィル類に分類される。動物はカロテノイドを生合成できないため、動物に存在するカロテノイドはすべて食物から摂取されたものに由来する。ヒトが日常摂取する食物の中には50種類程度のカロテノイドが含まれ、そのなかでもβ-カロテン、α-カロテン、β-クリプトキサンチン、リコペン、ルテイン、ゼアキサンチンの6種類が主要で、これらで血液中のカロテノイドの90%以上を占めるとされている¹⁾。

β-カロテンなど一部のカロテノイドは、体内で酸化的開裂をうけレチナールになり、さらに還元されレチノール（ビタミンA）に変換される。日本食品標準成分表には、プロビタミンAであるα-カロテン、β-カロテン、β-クリプトキサンチンの含有量が掲載されている。食品中β-カロテンのビタミンAとしての生体利用率は1/12、

Yoshimi KISHIMOTO

摂南大学農学部食品栄養学科

〔著者紹介〕（略歴）2005年お茶の水女子大学生生活科学部食物科学講座卒業。2010年同学大学院人間文化創成科学研究科ライフサイエンス専攻博士後期課程修了。博士（学術）を取得。同学生活環境教育研究センター講師（研究機関研究員）。寄附研究部門「食と健康」寄附研究部門准教授を経て、2020年より摂南大学農学部食品栄養学科准教授（現職）

〔専門分野〕食品機能学、栄養生化学

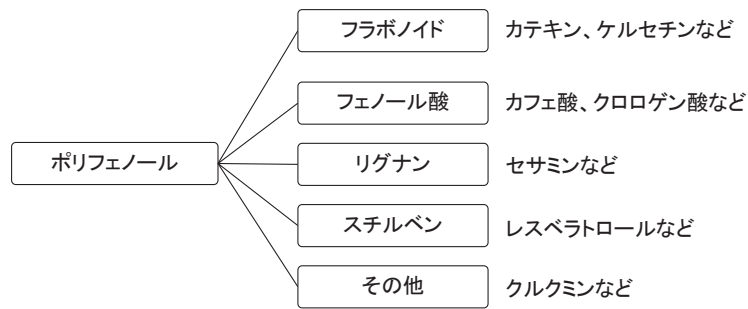


図1 ポリフェノールの分類と代表的な化合物

表1 代表的なカロテノイドと多く含まれる食品

	カロテノイド	多く含まれる食品
カロ テ ン 類	α -カロテン*	緑黄色野菜
	β -カロテン*	緑黄色野菜
	γ -カロテン*	緑黄色野菜
	リコペン	トマト
キ サ ン ト フ ィ ル 類	β -クリプトキサンチン*	温州みかん
	ルテイン	ほうれんそう, 卵黄
	ゼアキサンチン	とうもろこし, 卵黄
	アスタキサンチン	鮭, いくら
	フコキサンチン	昆布, わかめ

*プロビタミンA

その他のプロビタミンAカロテノイドは1/24として換算され、ビタミンA含量（レチノール活性当量）が求められる。カロテノイドは、プロビタミンAとして免疫や視覚の調節に働くほか、抗酸化作用をもち、特に一重項酸素消去能が高い。また、ルテインとゼアキサンチンは目の網膜の黄斑に局在し、青色光（ブルーライト）を吸収することで光酸化から網膜を保護する役割がある。そのほか、多様な生理機能を有するカロテノイドとして、鮭やいくらに含まれるアスタキサンチンや、昆布などの海藻に特徴的なフコキサンチンなどがよく知られている（表1）。

4. 疫学研究から注目を集めたポリフェノール・カロテノイド

ポリフェノールの健康機能が注目され始めたのは、1990年頃にフランスで脂質（特に飽和脂肪酸）の摂取量が多いにもかかわらず冠動脈疾患の死亡率が少ないという事象が、「フレンチパラドックス」として話題となり、赤ワインの摂取量が多いこととの関連に注目が集まったことに端を発する。本格的な疫学研究は、オランダの Zutphen Elderly Study が先駆けであり、フラボノイドの摂取量が多いグループは冠動脈疾患の死亡リスクが有意に低いことが示された²⁾。その後、Seven Countries Study

という日本を含む7カ国が参加した疫学研究においても、フラボノイド摂取量と冠動脈疾患の死亡率の間に負の関連があることが報告された³⁾。

カロテノイドについては、緑黄色野菜に含まれる抗がん作用をもつ物質として、 β -カロテンが注目され、1980年代には大規模な β -カロテンの介入試験が実施された。カロテノイドの摂取量や血中濃度は、がんの発症リスクと負の関連があることがメタ解析で示されている⁴⁾。部位別では、胃がんや食道がんのリスクを野菜や果物の摂取が低下させることは「ほぼ確実」とされている（世界がん研究基金／米国がん研究協会報告書）。冠動脈疾患との関連では、いくつかの前向き研究でカロテノイドの高摂取や血中の高濃度は冠動脈疾患の発症リスクを低下させたとの報告があるが^{5)~7)}、関連が見られなかった研究もある⁸⁾。また、 β -カロテンのサプリメントを摂取しても冠動脈疾患の予防効果は得られなかったとする研究が多い⁹⁾。

5. 海外におけるポリフェノール・カロテノイド含有量データベースと摂取量の推定

米国では米国農務省（USDA）が、USDA Special Interest Databases on Flavonoids という、食品中のフラボノイド含有量のデータベースを公開している（https://agdatacommons.nal.usda.gov/collections/USDA_Special_Interest_Databases_on_Flavonoids/6953700）。フラボノール類4種類、フラボン類2種類、フラバノン類3種類、フラバン-3-オール類11種類、アントシアニン類6種類について、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）での測定値が掲載されている。ヨーロッパでは、フランス国立農業・食料・環境研究所（INRAE）が公開している Phenol Explorer というデータベースが有名である。400以上の食品においてFolin-Ciocalteu法での総ポリフェノール量や、HPLCでの測定値が収載されている（<http://phenol-explorer.eu/>）。さらに、調理や加工による変化に関する情報も収載され、様々な情報を得ることができる。

カロテノイドに関しては、アメリカのUSDA Food Data

Central では、プロビタミン A である α -カロテン、 β -カロテン、 β -クリプトキサンチンにくわえて、リコペン、ルテイン、ゼアキサンチンの含有量が掲載されている。

6. 日本におけるポリフェノール含有量データベースの構築と摂取量の推定

欧米のデータベースには日本特有の食品データが含まれないため、著者らのグループでは、日本におけるデータベースの構築に取り組んできた。総ポリフェノール量の主なデータは論文を参照されたい¹⁰⁾¹¹⁾。このデータベースを活用し、日本人におけるポリフェノール摂取量の推定を進めている。

若中年の女性109名を対象にした研究では、ポリフェノール摂取量の平均値は1日 841 mg で、食品別ではコーヒーが全体の47%、緑茶が16%、紅茶が6%、チョコレートが3%を占めていた¹¹⁾。中高年の主に男性610名を対象にした研究では、平均摂取量は1日 1,466 mg で、摂取源としてコーヒーが43%、緑茶が27%と多かった¹²⁾。この2つの研究において、ポリフェノール摂取源の上位20のうち、17が同じ食品であり、全体の9割以上を占めていたことから、日本人においては性別や年齢が異なる集団でも、主要なポリフェノール摂取源となる食品はある程度限られていることが推察された(図2)。

ポリフェノール摂取量の季節差や年齢差に関する研究

は世界的に報告がなかったため、10,000名以上の日本人を対象に行われた飲料摂取量調査をもとに、飲料限定ではあるがトレンドを検討した。その結果、季節差については、冬の摂取量が多く、夏は少ない傾向があった。また、男女ともに50歳代までは年代が上がるにつれてポリフェノール摂取量が多くなった。これは低年齢では麦茶を多く摂取し、コーヒーや緑茶をあまり飲まないことが影響していた。30~50歳代の最も多い摂取源はコーヒー、60歳代では緑茶であり、年齢によるポリフェノール摂取量の差は、嗜好の変化と関係していることが推察された¹³⁾。

また、旬の食材を多用する日本人の食事内容は季節によって異なるため、食事からのポリフェノール摂取量の季節差を検討することも重要である。そこで、総務省統計局から発表されている家計調査の月報データを利用し、一人あたりの野菜・果物の購入量を推計し、これを摂取重量とみなして月別に比較した。生鮮野菜においては、ポリフェノール摂取量の月別差はほとんど見られなかったものの、1月、7月、8月でわずかに少なく、10月、11月、12月でわずかに多かった。年間を通じて、生鮮野菜の中ではポリフェノール含有量の高いたまねぎが一番の摂取源であった。生鮮果物は季節による摂取量の差が大きく、ポリフェノール摂取量では、みかんなどの柑橘類からの摂取が多かった。生鮮果物から摂取しているポ

■若中年女性のポリフェノール摂取源

1	コーヒー	47.0%
2	緑茶	16.4%
3	紅茶	5.7%
4	チョコレート	3.3%
5	ビール	3.2%
6	醤油	3.1%
7	たまねぎ	1.7%
8	ウーロン茶	1.7%
9	麦茶	1.6%
10	赤ワイン	1.6%
11	パン	1.4%
12	味噌	1.2%
13	そば	1.0%
14	うどん	0.8%
15	納豆	0.8%
16	オレンジ	0.7%
17	トマト・野菜ジュース	0.6%
18	中華めん	0.6%
19	豆腐、油揚げ	0.5%
20	パスタ	0.5%

■中高年（主に男性）のポリフェノール摂取源

1	コーヒー	43.2%
2	緑茶	26.6%
3	ビール	2.9%
4	赤ワイン	2.2%
5	トマト・野菜ジュース	1.9%
6	ほうれんそう、ブロッコリー	1.7%
7	醤油	1.6%
8	紅茶	1.6%
9	そば	1.5%
10	納豆	1.4%
11	豆腐、油揚げ	1.3%
12	ウーロン茶	1.3%
13	たまねぎ、ねぎ	1.1%
14	オレンジ	1.1%
15	味噌	1.0%
16	パン	1.0%
17	チョコレート	0.9%
18	麦茶	0.9%
19	いちご	0.8%
20	ナッツ	0.6%

図2 日本人を対象とした2つの調査における主なポリフェノール摂取源(文献11), 12)より作成)

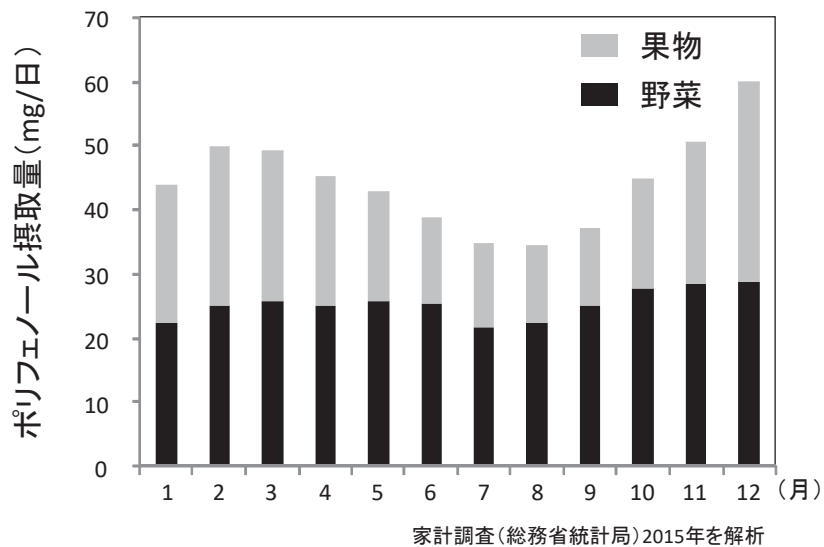


図3 野菜・果物からのポリフェノール摂取量 (月別) (文献14) より作成

リフェノール量は夏に少なく、最も少ない9月は最も多い12月の38%程度で、季節による差が大きかった。生鮮野菜と生鮮果物を合計すると、8月のポリフェノール摂取量は12月の57%程度と少なかった¹⁴⁾(図3)。以上の2つの研究から、飲料のみならず、野菜や果物からのポリフェノール摂取量も夏に少なく、夏は総じてポリフェノール摂取が少ない可能性が示唆された。

これまでの検討で明らかになってきた日本のポリフェノール摂取の特徴を以下にまとめた。

- ・個人差が大きい(100-5,000 mg/日)
- ・コーヒーと緑茶が二大摂取源で、飲料からの摂取が約80%を占める
- ・年齢により摂取量、摂取源が異なる
- ・季節差(冬>春・秋>夏)

欧米諸国の研究においてもポリフェノール摂取源として飲料が占める割合が大きいですが、日本は野菜や果物、穀類からのポリフェノール摂取量の少なさが目立つ。果物については、摂取量の少なさに加えて、果皮を除いて摂取することが多いといった食べ方も影響している可能性がある。

7. 日本におけるカロテノイド含有量データベースの構築と摂取量の推定

カロテノイドに関しては、日本食品標準成分表に収載されている α -カロテン、 β -カロテン、 β -クリプトキサンチンはその掲載値を用い、ルテイン、ゼアキサンチン、リコペン、フコキサンチンは日本の食材に関する文献の値を参照し、文献値のない食品についてはHPLCによる分析を実施し、その測定値をデータベースに収載した。

主なデータは論文を参照されたい¹⁵⁾。

若中年女性109名のカロテノイドの摂取量を推定したところ、7種のカロテノイドの合計である総カロテノイド摂取量の平均値は1日7.45 mgで、リコペン(39%)、 β -カロテン(23%)、ルテイン(15%)、フコキサンチン(13%)の順に寄与率が高かった。また、摂取源の上位10品目は、にんじん、トマトケチャップ、トマト、トマト・野菜ジュース、わかめ、ほうれんそう、みかん、鶏卵、ひじき、きゅうりであった¹⁵⁾。

カロテノイドの摂取量に関しても、季節差が存在する可能性がある。例えば、摂取源上位のトマトは春から夏にかけて消費量が多く、みかんは冬に出回る。現在、日本人成人男女を対象にカロテノイド摂取量調査を実施しており、季節差や年齢差などを検討する予定である。

8. おわりに

ポリフェノールやカロテノイドには様々な機能が認められ、動脈硬化やその他の健康課題に対して、予防的に働く可能性がある。実際に、著者らが岐阜大学の疫学・予防医学分野と共同で行った研究では、ポリフェノール高摂取群(上位4分の1)は低摂取群(下位4分の1)に比べ、全死亡リスクならびに循環器疾患死亡リスクが低下していた¹⁶⁾。日本人の健康とポリフェノール・カロテノイドの関係について今後も研究を進め、彩りと機能性を上手に活用した健康的な食生活の提案につなげていきたいと考えている。

文 献

- 1) 眞岡孝至. カロテノイドの多様な生理作用. 食品・臨床栄養. 2007, 2, 3-14.
- 2) Hertog, M. G.; Feskens, E. J.; Kromhout, D. Antioxidant

- flavonols and coronary heart disease risk. *Lancet*. 1997, 349, 699.
- 3) Hertog, M. G.; Kromhout, D.; Aravanis, C.; Blackburn, H.; Buzina, R.; Fidanza, F.; Giampaoli, S.; Jansen, A.; Menotti, A.; Nedeljkovic, S.; Pekkarinen, M.; Simic, B. S.; Toshima, H.; Feskens, E. J. M.; Hollman, P. C. H.; Katan, M. B. Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Archives of Internal Medicine*. 1995, 155, 381–386.
 - 4) Aune, D.; Keum, N.; Giovannucci, E.; Fadnes, L. T.; Boffetta, P.; Greenwood, D. C.; Tonstad, S.; Vatten, L. J.; Riboli, E.; Norat, T. Dietary intake and blood concentrations of antioxidants and the risk of cardiovascular disease, total cancer, and all-cause mortality: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2018, 108, 1069–1091.
 - 5) Osganian, S. K.; Stampfer, M. J.; Rimm, E.; Spiegelman, D.; Manson, J. E.; Willett, W. C. Dietary carotenoids and risk of coronary artery disease in women. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2003, 77, 1390–1399.
 - 6) Klipstein-Grobusch, K.; Geleijnse, J. M.; den Breeijen, J. H.; Boeing, H.; Hofman, A.; Grobbee, D. E.; Witteman, J. C. Dietary antioxidants and risk of myocardial infarction in the elderly: the Rotterdam Study. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1999, 69, 261–266.
 - 7) Ito, Y.; Kurata, M.; Suzuki, K.; Hamajima, N.; Hishida, H.; Aoki, K. Cardiovascular disease mortality and serum carotenoid levels: a Japanese population-based follow-up study. *Journal of Epidemiology*. 2006, 16, 154–160.
 - 8) Sesso, H. D.; Buring, J. E.; Norkus, E. P.; Gaziano, J. M. Plasma lycopene, other carotenoids, and retinol and the risk of cardiovascular disease in men. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2005, 81, 990–997.
 - 9) Hennekens, C. H.; Buring, J. E.; Manson, J. E.; Stampfer, M.; Rosner, B.; Cook, N. R.; Belanger, C.; LaMotte, F.; Gaziano, J. M.; Ridker, P. M.; Willett, W.; Peto, R. Lack of effect of long-term supplementation with beta carotene on the incidence of malignant neoplasms and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*. 1996, 334, 1145–1149.
 - 10) Fukushima, Y.; Ohie, T.; Yonekawa, Y.; Yonemoto, K.; Aizawa, H.; Mori, Y.; Watanabe, M.; Takeuchi, M.; Hasegawa, M.; Taguchi, C.; Kondo, K. Coffee and green tea as a large source of antioxidant polyphenols in the Japanese population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009, 57, 1253–1259.
 - 11) Fukushima, Y.; Tashiro, T.; Kumagai, A.; Ohyanagi, H.; Horiuchi, T.; Takizawa, K.; Sugihara, N.; Kishimoto, Y.; Taguchi, C.; Tani, M.; Kondo, K. Coffee and beverages are the major contributors to polyphenol consumption from food and beverages in Japanese middle-aged women. *Journal of Nutritional Science*. 2014, 3, e48.
 - 12) Taguchi, C.; Fukushima, Y.; Kishimoto, Y.; Suzuki-Sugihara, N.; Saita, E.; Takahashi, Y.; Kondo, K. Estimated Dietary Polyphenol Intake and Major Food and Beverage Sources among Elderly Japanese. *Nutrients*. 2015, 7, 10269–10281.
 - 13) Taguchi, C.; Fukushima, Y.; Kishimoto, Y.; Saita, E.; Suzuki-Sugihara, N.; Yoshida, D.; Kondo, K. Polyphenol Intake from Beverages in Japan over an 18-Year Period (1996–2013): Trends by Year, Age, Gender and Season. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology (Tokyo)*. 2015, 61, 338–344.
 - 14) 田口千恵, 岸本良美, 福島洋一, 才田恵美, 田中未央里, 近藤和雄. 野菜・果物からのポリフェノール摂取量の季節差に関する検討. *日本栄養・食糧学会誌*. 2017, 70, 17–22.
 - 15) Fukushima, Y.; Taguchi, C.; Kishimoto, Y.; Kondo, K. Japanese carotenoid database with alpha- and beta-carotene, beta-cryptoxanthin, lutein, zeaxanthin, lycopene, and fucoxanthin and intake in adult women. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2023, 93, 42–53.
 - 16) Taguchi, C.; Kishimoto, Y.; Fukushima, Y.; Kondo, K.; Yamakawa, M.; Wada, K.; Nagata, C. Dietary intake of total polyphenols and the risk of all-cause and specific-cause mortality in Japanese adults: the Takayama study. *European Journal of Nutrition*. 2020, 59, 1263–1271.