

食品安全情報（化学物質） No. 20/ 2024（2024. 10. 02）別添

国立医薬品食品衛生研究所 安全情報部 第三室
(<http://www.nihs.go.jp/dsi/food-info/foodinfonews/index.html>)

- ドイツ連邦リスクアセスメント研究所（BfR : Bundesinstitut für Risikobewertung）<https://www.bfr.bund.de/en/home.html>

1. 焦がさず黄金色に：食品中のアクリルアミドについての Q&A

Gilding instead of charring: questions and answers about acrylamide in food

Updated FAQ of 26 August 2024

https://www.bfr.bund.de/en/gilding_instead_of_charring_questions_and_answers_about_acrylamide_in_food-128397.html

（2011 年版の全面的改訂）

食品を加熱すると、化学的組成は変化することが多い。特定の状況下で食品を加熱すると健康に害を及ぼす可能性のある望ましくない物質の生成を伴うこともある。これらは通常「熱誘発性汚染物質」と呼ばれる。高熱に暴露されたことにより、焦げた食品ではしばしばこのような物質の濃度が特に高い。熱誘発性汚染物質の 1 つがアクリルアミドであり、BfR は質問と答えをまとめた。

アクリルアミドとは何か？

アクリルアミドは、水に非常に溶解しやすい有機化合物である。食品においては、アクリルアミドは、焼く、ローストする、グリルする、揚げる、炒めるなどの間に食品が褐色になる原因であるメイラード反応の副産物として生成される。アスパラギン濃度が高く、水分含有量の少ない、炭水化物を多く含む食品が高温で加熱されると、大量のアクリルアミドが生成される。この影響は、約 120 °C ですで見られ、170～180 °C から急増する。

しかし、アクリルアミドは食品のメイラード反応中にのみ生成されるわけではない。アクリルアミドは、プラスチックや染料の製造にも使用される。しかし、アクリルアミドの工業的利用が食品中のアクリルアミドの存在に直接関連することはない。

どの食品にアクリルアミドがたくさん含まれているのか？

ポテトクリスプ、ポテトパンケーキ、ポテトチップス、フライドポテトなどのジャガイモから作られる製品や料理に、特に高濃度のアクリルアミドが含まれていることが多い。クリスプブレッド、クラッカー、ビスケット、朝食用シリアルなどの穀類製品にも、関連する量

のアクリルアミドが含まれていることがある。アクリルアミドはロースト中に生成されるため、コーヒーにも含まれる。BfR MEAL スタディ（訳注：BfR が実施するトータルダイエットスタディ）の一環としての最近の調査から、野菜のクリスプに非常に高濃度のアクリルアミドが含まれている可能性があることも示された。一方、飲料水から吸収されるアクリルアミドはごく少量のみである。

消費者はどのくらいのアクリルアミドを摂取しているのか？

消費者にとって、アクリルアミドの主な摂取源は食事である。2015 年の EFSA の計算によると、食事からの一日摂取量は、0.4～1.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日である。アクリルアミドはタバコの煙にも含まれており、喫煙者は吸入することでさらに暴露される。彼らは 0.5～2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日 摂取していると推定される。（Schettgen et al., 2004a; Vesper et al., 2008; von Stedingk et al., 2011; Phillips and Venitt, 2012）。

ヒトは食品や喫煙以外からアクリルアミドにどのくらい暴露されるのか？

現在入手可能なデータから、他の暴露源は無視できると示唆されている。化粧品に含まれるアクリルアミドには、欧州レベルで残留アクリルアミド量を大幅に制限する規制が採択されている。従って、化粧品からのアクリルアミドへの消費者暴露は、今のところ重要ではないと見なされている。

アクリルアミドの有害影響とは？

食品から摂取したアクリルアミドは、消化管から吸収され、全ての臓器に分布する。摂取したアクリルアミドのほとんどは代謝される。アクリルアミドと、ヒトの体内で生成されたアクリルアミドの代謝物はどちらも、胎盤を通過し、母乳にも移行する。

EFSA は 2015 年に、食品からのアクリルアミドの摂取に関連する潜在的な健康リスクについて包括的意見を発表した。全ての入手可能なデータを考慮し、主に動物実験に基づいて、意見書では、変異原性及び発がん性や、神経系、男性の生殖能力、胎児の発達への影響を特定した。

変異原性や発がん性の影響は、ヒトではどのような役割を果たしているのか？

アクリルアミドがもたらす健康リスクを評価する際、この物質の変異原性と発がん性は重要である。動物実験では、アクリルアミドは、食事からの摂取後に消化管でほぼ完全に吸収され、その後、主に肝臓で代謝される。生成される代謝物質の 1 つはグリシダミドで、これはアクリルアミドに比べて反応性が高く、タンパク質や DNA などの細胞成分と非常に速く結合する。

アクリルアミドの発がん性は動物実験で様々な臓器において示されているが、これは主にグリシダミドによるものである。グリシダミドは DNA と結合し、DNA 配列の変化（突然変異）を誘発する可能性がある。活性酸素種(ROS)の生成や細胞周期の制御に関する非変異原性（エピジェネティック）の影響も潜在的な作用機序である。アクリルアミドの変異原性に関するこの結論は、より最近のデータを考慮した 2022 年の別の意見書でも EFSA が確認した。

変異原性と発がん性に関しては、現在、ヒトの健康に対する有害影響が予想されないアクリルアミドの一日摂取量を、十分な確実性を持って決定することはできない。

ヒトに非腫瘍性の影響が生じる確率は？

「非腫瘍性の影響」は、がんの発生には関係しないが健康障害を引き起こす可能性のある影響のことである。アクリルアミドの場合は、神経系、男性の生殖能力、胎児の発達への影響などがある。動物実験では、430 µg/kg 体重/日以上用量で発生した。

原則として、ヒトは食品からこれほど大量に摂取することはない。ヒトの平均的な食事からの摂取量は 0.4~1.9 µg/kg 体重/日である(EFSA, 2015)。従って、非腫瘍性の影響はヒトでは発生しないと予想される。

アクリルアミドの摂取は消費者に健康リスクをもたらすのか？

アクリルアミドには変異原性や発がん性があるため、今のところ、ヒトの健康への有害影響が予想されない一日摂取量を十分な確実性をもって特定することはできない。そのため、リスク評価の基礎としてアクリルアミドの健康影響に基づく指標値（health-based guidance value: HBGV）を決定できない。

このような場合、EU では一般的なことだが、EFSA は 2015 年の意見書で、代わりに暴露マージン(MOE)の概念を適用した（EFSA のウェブサイト上の詳細情報：<https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/marginexposure>）。MOE は、適切な毒性学的基準点（reference point）をその物質のヒトへの暴露量で割った値である。意見書では、動物モデル（マウス）での発がん性に基づき、基準点を 0.17 mg/kg 体重/日とした。この基準点と平均的なアクリルアミド推定摂取量に基づき、EFSA は MOE 値を 89~425 と算出した。特定の食習慣により、特に多量のアクリルアミドを摂取する消費者には、50~283 の MOE 値が付与された。

アクリルアミドのような変異原性及び発がん性物質の場合、MOE 値が 10,000 以上であれば、公衆衛生の観点から一般的に懸念は低い—だが害がないわけではない—と考えられる。しかしアクリルアミドの場合、MOE 値はすべて 10,000 を大きく下回っている。これらの研究結果から、EFSA は、食品から摂取するアクリルアミドの総量を懸念の原因として検討することとなった。

だが、ヒトの観察研究から得られたアクリルアミドに関する現在入手可能な疫学データは、食事からのアクリルアミドの摂取量と集団におけるがん発生率との統計的相関に関する明確なイメージを示していない。

子供たちは食品に含まれるアクリルアミドから特にリスクを受けるのか？

子供たちは成人よりも体重に対して食べる量が多い。従って、アクリルアミド暴露量は成人よりもかなり多い可能性があるが、子供においても、個人の食習慣に大きく依存する。2015 年に EFSA が発表した暴露評価から、乳幼児や子供の平均アクリルアミド摂取量は、青年、成人、高齢者よりも多いことが分かった。アクリルアミドへの平均暴露量は多く、一般に子供は特に感受性の高い集団であるため、子供は成人よりも健康リスクが高いと考え

られる。

妊娠中のアクリルアミドの有害影響について何が知られているか？

科学的評価によると、ヒトが食品から摂取するアクリルアミドの量は、胎児と乳児の発育を害するものではなく、流産のリスクを増加させるものでもない。しかし、アクリルアミドには変異原性や発がん性がある。また、アクリルアミド、及びヒトの体内で生成された代謝物質はどちらも、胎盤を通過し、母乳に移行する可能性がある。妊婦と授乳中の母親は、自分自身と子供の負担を最小限に抑えるために、アクリルアミドの摂取量を抑えるよう心がけるべきである。

アクリルアミドの摂取量に「耐容できる閾値」はあるのか？

アクリルアミドのような変異原性及び発がん性物質の場合、摂取量が少なくても、特に定期的に摂取される場合、健康リスクの増加に関連する可能性がある。そのため、現在までの知見によれば、アクリルアミドの耐容一日摂取量(TDI)や、その他の健康影響に基づく指標値を導出することはできない。

代わりに、EU で一般的に適用されている最小化要件が参照基準の枠組みを提供する。この要件の目的は、変異原性及び発がん性物質への暴露を合理的に達成可能な限り最小にすることである (ALARA の原則 : As Low As Reasonably Achievable)。

ALARA の原則に従って、食品中のアクリルアミドを低減するために EU 全体の規則が設定されている。しかし、設定されているガイドライン値は、最大基準値ではなく、最小化対策の有効性を監視するための評価指標として機能している。ガイドライン値は、関連する全ての最小化対策を適用することで合理的に達成できるアクリルアミドの濃度に相当する。これらのガイドライン値は、健康リスクにではなく、技術的な実現可能性にのみ基づいており、ガイドライン値を下回っても、当該食品がヒトの健康に完全に無害だということにはならない。

食事からのアクリルアミドの摂取量を低減するために消費者は何ができるのか？

調理された食品に含まれるアクリルアミドの量は、熱による褐変の程度に密接に関連する：食品の褐色が濃いほど、より多くのアクリルアミドが含まれている。従って、消費者は、炭水化物を多く含む食品を加工する際には、穏やかな調理方法に注意を払う必要がある。「焦がさず黄金色に」が鉄則である。つまり、食品を 180 °C 以上で、あるいは必要以上に長く、加熱してはならない。

原則として、アクリルアミドの摂取量は、焦げた層を除去することで低減できると推測される。しかし、適度に褐変した食品でも、すでに高濃度のアクリルアミドを含む可能性がある。従って、そもそもアクリルアミドが生成されないように、あらかじめ常に丁寧な準備をするのが好ましい。

また、食品中に含まれる水分が多いほど、アクリルアミドの生成量は少なくなる。例えば、通常、調理済フライドポテトは、生のジャガイモのスライスから作るフライドポテトよりもアクリルアミド含有量が少ない。

パッケージに記載されている調理上の推奨事項に従うこと。食品を選ぶ際に、一般的に助言されている種類の違いや多様性を考慮すれば、消費者の潜在的なリスクは低減できる。これにより、食品中に低レベルで散発的に発生することが予想される様々な潜在的危険物質への偏った暴露を避けられる。

人体は自らアクリルアミドを生成するのか？

BfR の研究チームは興味深い発見をした：アクリルアミドは体内でも生成されるという明確な根拠があり、しかも、これまでに想定されていた生成量よりも多い。これに関する詳細情報は別途発表されている。

2. アクリルアミドは体内でも産生される

Acrylamide is also produced in the body itself

10 July 2024

<https://www.bfr.bund.de/cm/349/acrylamide-is-also-produced-in-the-body-itself.pdf>

アクリルアミドはデンプン含有量の多い食品を加熱すると生成する。例えば、フライドポテト、ポテトクリスプ、コーヒーなどに含まれている。もう 1 つの暴露源はタバコの煙である。この物質はがんの原因となることが疑われているため、EU の食品製造業者やレストランは、食品のアクリルアミド含有量を最小化するための措置を取らなければならない。ドイツ連邦リスク評価研究所(BfR)の調査チームは興味深い発見をした。アクリルアミドは体内でも生成し、その生成量はこれまで考えられていたよりも多いという明確な根拠である。研究者らはこの研究結果を *Archives of Toxicology* 誌に発表した。

この研究では、体内のアクリルアミドの量を、混合食者、ビーガン、ローフード食者と比較した。尿と血液のサンプルでアクリルアミド反応生成物を分析した。ローフード食者は少なくとも 4 ヶ月間加熱した食品を食べていないため、体内のアクリルアミド量は非常に少ないと予想された。しかし、彼らの体内のアクリルアミド反応生成物の量は、混合食者で検出された量の 25%(尿)、48%(血液)だった。これは体内でのアクリルアミド生成により説明できる。この研究では、ビーガン食は混合食と比較してアクリルアミド摂取量が有意に多いことも示された。

アクリルアミドは有機化合物である。プラスチック（ポリマー）や顔料の原料として工業的に使用されている。約 20 年前、アクリルアミドは、炭水化物の多い食品からも、煎る、焼く、揚げるなどの高温調理で生成することが発見された。ポテトフライやクリスプなどのジャガイモ製品、朝食用シリアル、パン（特にクリスプブレッド）、コーヒーなどに特に高濃度含まれている。もう 1 つの暴露源はタバコの煙である。

動物実験では、アクリルアミドは遺伝毒性、変異原性、発がん性があることが示されている。それに対して、疫学研究（集団調査）では、アクリルアミドの摂取とがんのリスク増加との間に明確な関連性はまだ立証されていない。

BfR の研究では、合計 36 人の混合食者とビーガン、16 人の厳格なローフード食者が参加した。ローフード食者は自然食品しか食べないため、おそらくアクリルアミドの摂取量はごく少量であろう。体内のアクリルアミドへの短期暴露量を推定するために、代謝産物であるアクリルアミドメルカプツール酸について、24 時間の尿中への排泄量を測定した。数ヶ月間の中期暴露に関しては、赤血球色素ヘモグロビンとアクリルアミドの反応生成物（付加体）の分析により検討した。

ローフード食者のアクリルアミド付加体が混合食者の 48 %であるという事実は、ヒトの体内でアクリルアミドがかなり「自己生産」されていることを示している。この程度まで測定されたことはこれまでない。外部から供給されていない場合、このアクリルアミドの供給源は何だろうか？ 1つの可能性は酸化ストレスである。酸化ストレスは、細胞内に攻撃的な活性酸素化合物を作り出す。これらはアクリルアミドの生成を促進する可能性がある。もう 1つの可能性は腸内細菌による産生である。エタノールやニトロソアミン類などの他の毒性物質が体内で生成する可能性があることも知られている。アクリルアミドに関しては、リスク評価のために、この体内（内因性）生成からどのような結論が導き出されるか議論することが必要だろう。

ビーガンは混合食者よりも多くのアクリルアミドを摂取している

この研究では、ビーガンは混合食者よりもアクリルアミド摂取量が多いことも分かった。アクリルアミド付加体のレベルはビーガンの方が約 40%高いことが判明した。これはおそらく野菜炒め、豆腐やグルテンミートから作られた代替肉、パンの平均摂取量が多いことによる。ドイツの栄養に関する BfR MEAL スタディのデータからも、野菜のクリスプ、ポテトパンケーキ、フライドポテトには比較的高レベルのアクリルアミドが含まれている可能性があることが示されている。

* 発表論文 : Monien, B.H., Bergau, N., Gauch, F. et al. Internal exposure to heat-induced food contaminants in omnivores, vegans and strict raw food eaters: biomarkers of exposure to acrylamide (hemoglobin adducts, urinary mercapturic acids) and new insights on its endogenous formation.

Arch Toxicol 98, 2889–2905 (2024).

<https://doi.org/10.1007/s00204-024-03798-z>

* 関連情報

Acrylamide in Food (BfR Opinion Nr. 043/2011, 29 June 2011)

<https://www.bfr.bund.de/cm/349/acrylamide-in-food.pdf>

Effects of acrylamide on humans not entirely clear yet (Updated BfR communication No 041/2014, 12 December 2014)

<https://www.bfr.bund.de/cm/349/effects-of-acrylamide-on-humans-not-entirelyclear->

[vet.pdf](#)

3. BfR MEAL study : 野菜チップスに高濃度のアクリルアミドを検出

BfR MEAL study: High acrylamide levels detected in vegetable crisps

16. September 2024

<https://www.bfr.bund.de/cm/349/bfr-meal-study-high-acrylamide-levels-detected-in-vegetable-crisps.pdf>

特定の状況下で、食品の加熱は、望ましくない潜在的に有害な物質の生成につながる可能性がある。これには、デンプン含有量の多い食品を加熱する際に副産物として生成されるアクリルアミドが含まれる。ジャガイモ製品、コーヒー、たばこの煙などに含まれる可能性がある。

ドイツでは初の総合食事調査である、BfR MEAL study (Meals for Exposure Assessment and Analysis of Food) の一環として、様々な食品において、アクリルアミドを含む種々の物質の平均的な含有レベルが分析された。最も濃度が高かったのは野菜チップスであった。結果の詳細は *Food Chemistry: X* 誌に発表された。

BfR MEAL Study は、食品に含まれる物質の平均濃度や、食品の加工や調理中に生成される可能性のある健康リスクを分析している。BfR MEAL Study の結果は、例えば、食品の摂取から起こりうるリスクを認識するための基礎となる。データから、摂取の助言が導出できる。また、危機の際に望ましくない物質の濃度を迅速かつ確実に評価するための重要な比較基準となる。

アクリルアミドは、水に非常に溶解しやすい有機化合物である。食品では、アクリルアミドは、焼く、煎る、グリルする、揚げる、炒めるなどの際に、褐変反応（メイラード反応）の副産物として生成される。この反応は、約 120 °C 以上で始まり、約 170–180 °C で急速に増大する。そのため、アクリルアミドは、アミノ酸のアスパラギンを多く含み、水分が少なく、炭水化物を多く含む食品を強く加熱すると、大量に検出される可能性がある。例えば、チップス、揚げたジャガイモ製品、穀類ベースの焼成製品、焙煎コーヒーなどである。褐変度に従ってアクリルアミド含有量が増すため、消費者やケータリング施設では、「焦がさず黄金色に」というルールが依然として当てはまる。

アクリルアミド、及び、特にアクリルアミドから生成される代謝物グリシドアミドは、発がん性が疑われている。そのため、EU の食品製造業者はアクリルアミド含有量を最小限に抑え、製造工程を最適化することが求められている

BfR MEAL study の一環として、230 種類の食品のアクリルアミド含有量が分析された。その結果、最も濃度が高かったのは野菜チップス (1430 µg/kg)、次いでジャガイモパンケーキ(558 µg/kg)、フライドポテト(450 µg/kg)であった。一方、ポテトチップスの濃度は 190 µg/kg だった。

アクリルアミド生成において重要であるため、143 種類の食品が様々な褐変度で調理された。褐変度は、可能な限り、調理中の様々な消費者行動を反映して選択された（弱い褐変 1 から非常に強い褐変 5 まで）。フライドポテトやサツマイモなどの一部の食品は、オーブン、揚げ鍋、熱風フライヤーなど、異なる調理法も用いて調理された。フライドポテト及びサツマイモフライは高濃度のアクリルアミドを含み、予想されたように、アクリルアミド含有量は褐変度とともに増加した。例えば、フライドポテトのアクリルアミドレベルは、褐変度 1 と比較して褐変度 2 では 3 倍以上、褐変度 3 では 30 倍以上である。フライドポテトの例では、全ての褐変度においてアクリルアミドレベルが最も少ない調理法はオーブンで焼くこと（baking）であり、一方サツマイモフライでは、エアフライヤー調理の場合にアクリルアミド生成量が少なかった。これらのデータから、食品は軽く茶色にするのが望ましい（焦がさず黄金色に）という BfR の助言が裏付けられた。消費者は、調理法の選択、ひいては自身の行動を通して、アクリルアミドの摂取量に影響を与えることができる。

＊ 発表論文

S Perestrelo, K Schwerbel, S Hessel-Pras, et al. Results of the BfR MEAL Study: Acrylamide in foods from the German market with highest levels in vegetable crisps. Food Chemistry: X, Volume 22, 101403, 2024,
<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101403>

＊ 関連情報

A-Z Index Acrylamide :
https://www.bfr.bund.de/en/a-z_index/acrylamide-129902.html#fragment-2
BfR MEAL study:
<https://www.bfr-meal-studie.de/en/meal-homepage.html>

食品化学物質情報

連絡先：安全情報部第三室