

# 食事由来のカドミウムが人体に及ぼす影響

## —食事調査からカドミウム摂取量推定値の算出方法を検討する—

管理栄養学科 小多 沙知

### はじめに

カドミウムとは、原子番号 48 の金属元素、亜鉛族元素のひとつであり、鉱物中や土壌中などの天然に存在している重金属である。自然環境中のカドミウムが農畜水産物に蓄積し、それらを食品として摂取することでカドミウムが体内に吸収されるといわれている。体内に蓄積されるカドミウムの 50 ～ 70% が腎臓と肝臓に認められ、腎臓への蓄積が濃度として最大である。さらに、人体におけるカドミウムの生物学的半減期<sup>注1)</sup>は 10 年程度、あるいはそれ以上<sup>注2)</sup>といわれていることから、長期間カドミウムが体内に吸収され続けると数十年後に腎臓などでカドミウム濃度が有害レベルに達し、機能障害を起こす恐れがある。

カドミウムに対しては、「生産から消費の段階で適切な措置を講じて、合理的に可能な範囲で食品に含まれる量を減らすべき」というのが国際的に合意された考え方であるため、わが国では、カドミウムの汚染対策としてさまざまな取り組みが行われている<sup>注3)</sup>。また、関連研究において実際に測定機器で食品中のカドミウム量を分析する方法が行われているが、その方法は正確に測定できる一方で時間や費用がかかるため、大規模な人数の食事由来のカドミウム摂取量を把握するためには食物摂取頻度調査<sup>注4)</sup>などのアンケート調査によって推定値を算出する必要がある。しかし、わが国で食事由来のカドミウムを推定した大規模なコホート研究<sup>注5)</sup>は数少ないため、カドミウム摂取の実態を探るべく推定値の算出方法を検討することとした。

### 1. カドミウムが人体に及ぼす影響

ヒトでのカドミウムの体内吸収は、主に消化管と呼吸器を経由して行われ、消化管からの吸収率は 1 ～ 6%、呼吸器からは 2.5 ～ 20% 程度とされている<sup>注6)</sup>。消化管は、食物に含まれるカドミウムが曝露源となっており、呼吸器は、喫煙またはカドミウムを大気中に多く含む現場での職業などによる吸入曝露であるといわれている。

カドミウムが人体に及ぼす影響として有名なもののひとつにイタイイタイ病<sup>注7)</sup>がある。イタイイタイ病は、カドミウムを多く含む水を慢性的に摂取したことにより、腎臓皮質にカドミウムが蓄積され、尿細管に障害が起こり、さらに、骨の成分であるカルシウムやリンが尿中に流出し、骨粗鬆症を伴う骨軟化症を発症する病気である。このように、カドミウムは腎臓や骨に影響を及ぼすことが明らかになっている。また、WHO (World Health Organization: 世界保健機関) の専門機関である IARC (International agency for research on cancer: 国際がん研究機関) が公表している発がん性リスクの一覧表<sup>注8)</sup>によると、カ

ドミウムの発がん性は一番リスクの高い Group1 Carcinogenic to Humans（発がん性がある）に分類されている。Group1 にはカドミウムの他に、アスベスト、アルコール飲料、受動喫煙を含む喫煙など発がん性リスクのあるものとして有名なものが多く分類されている。

#### 1-1. 腎臓への影響

カドミウムを慢性的に摂取すると、腎機能障害が起こることが知られている。イタイイタイ病患者の腎臓の病変は、尿管に著しく、尿管の再吸収機能の低下により低分子たんぱく（ $\beta_2$ -MG： $\beta_2$ -ミクログロブリン、など）尿がみられるようになる。さらに腎障害が進行すると、最終的には腎不全となり死亡することもある。

#### 1-2. 骨への影響

尿管の再吸収機能障害によって尿中へカルシウムやリンが流出することにより、骨からそれらの成分が失われ骨代謝異常が起こることから骨粗鬆症などを発症するため、カドミウムは骨に直接影響を与えていない可能性が高いといわれている。イタイイタイ病における骨粗鬆症を伴う骨軟化症もその通りである。

また、カドミウム中毒はビタミン D の活性化の抑制に関係する。ビタミン D の主な作用としては、小腸、腎臓、骨におけるカルシウム代謝の調節が知られているが、カドミウム中毒の腎機能障害によって尿管に存在しているビタミン D 水酸化酵素の活性が抑制されて活性型ビタミン D が低下するというメカニズムが推定されている<sup>1)</sup>。

#### 1-3. 発がん性

カドミウムは、前述のとおり IARC により発がん性リスクが最も高い Group1 に分類されているが、これは職業などでの高濃度曝露データに基づいたものであり、日常生活でのカドミウム曝露によるがんの影響はよくわかっていないため、多目的コホート研究（JPHC 研究：The Japan Public Health Center-based Prospective Study）<sup>5)</sup>において大規模な調査が行われた。約 9 万人を追跡調査し、そのうち約 6 千人が何らかのがんに罹患したが、がんリスクとカドミウムの摂取量の関連はみられなかった。さらに、各部位別がんリスクについても調査を行ったところ、男性の胃がんと膵がん、女性の腎がんと子宮体がんでリスクの上昇がみられたが、いずれも統計学的に有意な関連ではなかった。これらのことから、カドミウムと発がん性については、今後も研究を進めていく必要がある。

#### 1-4. その他の影響

カドミウムの有害性に関しては、上記 3 つの他にもさまざまな報告がされている<sup>6)</sup>。動物実験において、ラットにカドミウムを摂取させたところ子宮の肥大、子宮内膜の肥厚、乳腺内部の肥厚などの、通常であれば女性ホルモンであるエストロゲンが誘発する変化が起こった<sup>7)</sup>ことから、カドミウムはエストロゲンと類似した作用があることがわかっている。しかし、ヒトを対象とした疫学的データでの肯定的な報告はほとんどされていない。

また、カドミウムは高血圧や心血管疾患との関連が知られているが、腎機能障害による高血圧など交絡因子が多い。一方、動物実験ではウサギの静脈にカドミウムを投与したところ、血圧が低下したとの報告<sup>8)</sup>もあることから、カドミウムが血圧に及ぼす影響は明ら

かになっていない。

## 2. 食品中のカドミウムについて

食品中に含まれるカドミウムについては、農林水産省が実態調査を行っている<sup>9)</sup>。それによると、わが国の食品からのカドミウムの推定量は食品安全委員会や国際機関が設定した耐容摂取量を下回っており、日常食として通常の食生活をしていれば食品からのカドミウム摂取による身体への影響は少ない。

### 2-1. 飲料水について

わが国の水道水の基準 51 項目のうち、カドミウムも基準値が定められている ( $0.003\text{mg/l}$  以下)<sup>10)</sup>。この値は、WHO が定めている飲料水基準<sup>11)</sup>と同じである。鉱山の廃坑などからの地下水や雪解け水としてしみ出してくる表層水を飲料水として使用している場合は飲料水のカドミウム基準値を超えることもあるが、一般的に飲料水中のカドミウム濃度は低いといわれている。日本のように法律で水質基準が設定されており、水質検査が義務付けられている国や地域においては、飲料水からのカドミウム摂取は大きな問題になる可能性は極めて低いといえる。

### 2-2. 食品について

農林水産省の調査結果<sup>9)</sup>によると、わが国の食品に含まれるカドミウムは特に貝類、頭足類<sup>注5)</sup>などの内臓に多く含まれる。その他は土壌や水中に含まれるカドミウム量によって変わってくるが、米、野菜、果物にも多く含まれている。

また、厚生労働省の研究機関である国立医薬品食品衛生研究所は昭和 25 (1977) 年度から毎年、日常食の汚染物質の摂取量をマーケットバスケット方式<sup>注6)</sup>によるトータルダイエツトスタディ<sup>注7)</sup>で行っており、その調査結果をもとに農林水産省が「日常食からのカドミウム 1 日摂取量の年次推移」のデータを公表している<sup>9)</sup>。今回、そのデータをもとに、1981～2015 年までの 5 年ごとの平均値をグラフに作成し、図 1 に示した。1981～1985 年の 5 年間の平均値は  $30\mu\text{g/man/day}$  を超えていたが、年々減っていき、最新の 2011～2015 年の 5 年間の平均値は  $20\mu\text{g/man/day}$  を少し超える値となっており、30 年余りで約  $10\mu\text{g/man/day}$  ほど減少していることとなる。しかし、諸外国で特に食事からのカドミウム摂取量が多いといわれているスウェーデンでは約  $15\mu\text{g/man/day}$ 、中国では約  $10\mu\text{g/man/day}$  であり<sup>5)</sup>、依然として日本人の食事からのカドミウム摂取量が多い。

日本人のカドミウム摂取量が諸

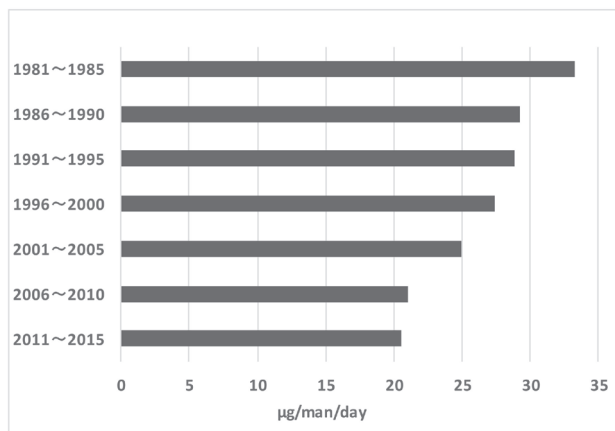


図1 日常食からのカドミウム摂取量 5年毎の平均値の推移  
日常食からの汚染物質の摂取量調査（国立医薬品食品衛生研究所）をもとに作成

外国と比較して多い理由のひとつに米飯の摂取量が多いことが挙げられる。米にはカドミウムが多く含まれており、米からのカドミウム曝露量の割合が多くなっている。「日常食からのカドミウム1日摂取量の年次推移」から米の部分のみのデータをもとに、1981～2015年までの5年ごとの平均値をグラフに作成し、図2に示した。これによると、多少の増減はあるものの、最初の5年の平均値に比

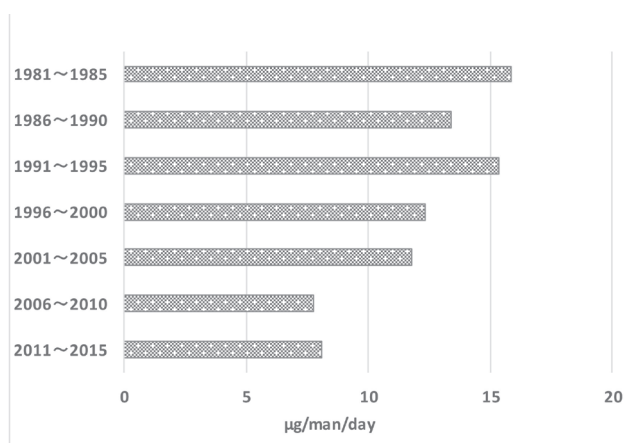


図2 米からのカドミウム摂取量 5年毎の平均値の推移  
日常食からの汚染物質の摂取量調査（国立医薬品食品衛生研究所）をもとに作図

べ最新の5年の平均値では約1/2のカドミウム摂取量となっている。これは、日本人の米の摂取量自体が減少してきていることもあるが、カドミウム濃度低減のためにされているさまざまな対策<sup>2)</sup>の結果でもあることがわかる。

### 3. 食事由来のカドミウムに関する研究や調査

カドミウムが人体に及ぼす影響に関する研究は様々なものが行われているが、それらの多くが血中や尿中のカドミウム量を分析し人体に関わる影響をみるものである。血中カドミウムに比べ、尿中カドミウムは腎臓に蓄積されたカドミウム量を反映するといわれているため、長期的な指標として利用されている。血中や尿中のカドミウム量を分析して研究することのメリットは、測定機器さえあればすぐに結果が出るため素早く調査結果をまとめることができることや、調査員の技術や対象者の記憶に頼らないのでそれらによる誤差が出にくいことである。デメリットとしては、血液検査をするには医師などの資格保有者が必要であることや、それにかかる費用、対象者の負担が大きいことがあげられる。

一方、食事由来のカドミウムに関する研究はいくつかされてきているものの、血中や尿中のカドミウム量を分析した研究に比べ、報告数は少ない。食事由来のカドミウムを正確に測定するためには、食品そのものを分析機器にて分析する必要があるが、食品の種類が非常に多いのにくわえて、加工方法などによってもカドミウム量が変わってくるのでそれらのすべてを分析するには膨大な費用と時間がかかる。前述したように、ある程度の食品については国立医薬品食品衛生研究所において調査されているので、それらの結果を利用して食物摂取頻度調査などの食事アンケートの結果よりカドミウム摂取量の推定値を算出することができる。アンケート調査であれば、費用はさほどかからず、同時に大勢の対象者に調査を行うことができるため、大規模な研究を行うことが可能である。食物摂取頻度調査は、対象者の記憶と感覚に頼る部分が多くあるため、過大評価や過小評価の可能性があるが、数々の論文においてその妥当性は検証されており、大規模な疫学調査に多く使用されている。しかし、国や地域によって食品に含まれているカドミウム量が違うことなど



から、より正確に推定値を算出するためには膨大な量の計算が必要となる。

### 3-1. 海外の食事由来のカドミウムに関する研究

海外でも食事由来のカドミウム摂取量に関する研究が行われている。アメリカでは VITAL (VITamins And Lifestyle) Study<sup>12)</sup> という大規模なコホート研究の対象者約 8 万人のうち約 3 万人に食物摂取頻度調査を行い、FDA (Food and Drug Administration : アメリカ食品医薬品局) が公表している食品のカドミウム含有量のデータ<sup>13)</sup>をもとに食事由来のカドミウム摂取量の推定値を算出している。VITAL Study において閉経後女性の乳がんと食事由来のカドミウム摂取量の関連を調べた研究<sup>14)</sup>では、2つの関連はみられなかったが、その理由として食事由来のカドミウム摂取量に測定誤差があった可能性を指摘している。

また、スウェーデンにおいても大規模な 2つのコホート研究 (COSM : Cohort of Swedish Men、SMC : The Swedish Mammography Cohort) のデータに基づき、男女合わせて約 7 万人の対象者の食事由来のカドミウム摂取量を推定し、腎結石の発生率との関連を調べた報告がある<sup>15)</sup>。カドミウム摂取量は、独自でマーケットバスケット方式にて食品のカドミウム含有量を分析し、食物摂取頻度調査のデータから算出している。しかし、食事由来のカドミウム摂取量と腎結石の発生率との関連はみられず、アメリカの研究と同様に、測定誤差の可能性を指摘している。さらに、職業曝露などのカドミウム曝露が強い場合は腎結石のリスクになるといわれていることから、通常の生活でのカドミウム曝露レベルでは、腎結石の発生に関わるような強いリスクまでは至らないと述べている。一方、わが国の食事由来のカドミウム摂取量については、諸外国よりも多いといわれているため、より正確に測定することによって何らかの結果が反映される可能性が考えられる。

### 3-2. 国内の食事由来のカドミウムに関する研究

国内における研究としては、JPHC 研究でさまざまな項目の研究がされており、食事由来のカドミウムに関する報告もなされている<sup>5)</sup>。JPHC 研究では、約 9 万人に対して妥当性のある食事アンケートを行っている。それらの結果を 138 の食品項目として算出し、さらに、6 項目の食品群 (米、小麦、大豆、根菜、葉菜、その他の野菜・果物) に含まれるカドミウム量をアンケートから計算された値に乗じて推定値を算出した。カドミウム推定値によって 4 群にグループ分けし、カドミウム摂取量の多いグループと少ないグループでどのような違いがあるのかを検討し、報告している。このような大規模な研究であるため、カドミウムは全食品について計算しているわけではなく、特に多いといわれている穀類、野菜類のみに留まっている。結果においては 1-3. 発がん性の章で述べたとおり、統計的に有意な関連はなかった。これらのことから、他にもカドミウム含有量が多いといわれている食品についてもカドミウム含有量を調べて推定値の算出に使用し、さらなる正確な結果を追求することでさらなる研究の発展のためにも、食事由来のカドミウム摂取量の推定値の算出方法を検討すべきであると考えられる。

#### 4. 食事由来のカドミウムの推定値の算出方法の検討

大規模調査において食事由来のカドミウム摂取量を推定するためには、先ほどの章でも述べたように、海外でも国内でも食物摂取頻度調査のデータから計算された値に食品中のカドミウム含有量を乗じて推定値を算出している。アメリカにおいてはFDAによる329種類の食品のカドミウム含有量が公表されている<sup>13)</sup>ため、それを利用して推定値を算出することができるが、国や地域によって、農作物の育つ環境が違うため、できる限りわが国のデータを利用する必要がある。農林水産省によって行われているのは国内の農畜産物等の実態調査<sup>9)</sup>であり、加工食品等のデータは不十分である。また、主要な農畜産物のみの結果であるため、対応できない食品もあることが問題点である。

##### 4-1. 加工食品のカドミウム推定値について

農産物は、加工された状態で流通しているものも多く存在する。例えば、米は玄米からとう精されて精白米となり、小麦は製粉されて小麦粉となっている。農林水産消費技術センターはそのような加工の工程でカドミウム含有量がどの程度変化するか、カドミウム濃度の変化を調べている。また、大豆の加工品も多く流通しているため、カドミウム摂取量を算出する上では避けて通れないものである。大豆から豆腐、味噌および醤油への加工におけるカドミウム含有量の変化を独立行政法人食品総合研究所が調べ、報告している。米、小麦、大豆による加工食品はこれらの値を参考に算出することとした。さらに、うどんや油揚げなどは、農林水産省が出している「加工食品の摂取量から農産物摂取量を推定するための換算係数」を用いることとした。その他、あんぱん、肉まんなどの「あん」と「皮」に分かれるものは、一般的なレシピを参考にしてそれぞれカドミウム含有量を算出することとした。

##### 4-2. その他の食品のカドミウム推定値について

上記の方法にてカドミウム含有量を推定していくとかなり多くの食品が網羅できるが、それでもまだ対応できない食品については、Kikuchiらが行ったカドミウム濃度の調査結果<sup>16)</sup>を参考とした。農林水産省の実態調査よりも細かく分類されており、調味料なども掲載されている。さらに、そこにも載っていないものについては、FDAのトータルダイエットスタディのカドミウム含有量<sup>13)</sup>を参考とした。以上の方法により、食事由来のカドミウム摂取量の推定値を算出し、検討を行う。

##### 4-3. 妥当性の検討

算出した食事由来のカドミウム摂取量の妥当性については、対象者の尿中カドミウムや血中カドミウムの値との相関関係により確認する。血中カドミウム量は短期間の体内のカドミウム量の指標であり、尿中カドミウム量は長期間の体内のカドミウム量の指標であることから、食事由来のカドミウムは尿中のカドミウム量との関連をみる方がより効果的であると考えられる。なぜならば、食事摂取頻度調査は1日の食事内容を聞くものではなく、最近のある期間（1週間、1か月など）の食事習慣を聞くものであり、たとえば野菜不足の人は習慣的に野菜不足であるため、ある程度の期間の食事習慣を反映するものであるといえるからである。こうした検討によって、食事由来のカドミウムの妥当性を証明していき、

今後の疫学研究に役立てたい。

## おわりに

食品に含まれるカドミウム量は、年々減ってきているものの、カドミウムは体内に数十年単位で蓄積されるため、簡単に無視できるものではない。しかし、食事由来のカドミウムに関する研究はまだ課題点が多く、なかなか結果に反映されていない。人が生活していくうえで食事は欠かせないものであるが、多種多様であるため、食生活が人体に及ぼす影響には、さまざまな交絡因子が存在している。それらをひとつずつ解決することで、より正確な結果が出ることを期待する。

## 注

注1) 代謝や排泄などでおよそ半量が体外に排出されるのに要する時間

注2) 食品名、その摂取頻度、1回に摂取するおよその量（重量、容量、大きさ）を尋ねる質問票によるアンケート調査

注3) 特定の集団を一定期間観察し追跡を続けることで、ある要因の有無が、病気の発生または予防に関係しているかを調査する研究方法

注4) 1910年代から1970年代前半にかけて富山県、神通川流域に多発した公害病。患者が「いたい、いたい」と訴えたことから「イタイイタイ病」と名付けられた

注5) 軟体動物門頭足綱に属する動物の総称。イカやタコなどが含まれる

注6) 広範囲の食品を小売店等で購入し、必要に応じて摂取する状態に加工、調理した後、分析する方法

注7) 人が通常の食生活において、特定の化学物質をどの程度摂取しているかを推定する方法。微生物の摂取量推定には適さない

## 参考文献

- 1) 厚生労働省（薬事・食品衛生審議会食品分科会毒性部会）：カドミウムの毒性評価に当たっての検討事項について,2003
- 2) 農林水産省, 2018, 「農産物中のカドミウム濃度低減対策技術」  
([http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k\\_cd/2\\_taisaku/01\\_tec.html](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/2_taisaku/01_tec.html),2018.7.17)
- 3) 愛知県衛生研究所,2018,「生体と金属」  
(<http://www.pref.aichi.jp/eiseiken/5f/metal.html>,2018.8.31)
- 4) World Health Organization, 2018, 「IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans」  
(<https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>,2018.8.28)
- 5) Sawada N, Iwasaki M, Inoue M et al.: Long-term Dietary Cadmium Intake and Cancer Incidence, Epidemiology, 23, 368-376, 2012
- 6) 食品安全委員会：汚染物質評価書カドミウム（第2版）,2009
- 7) Johnson MD, Kenney N, Stoica A et al.: Cadmium mimics the in vivo effects of estrogen in the uterus and mammary gland, Natural medicine, 9(8), 1081-1084, 2003
- 8) 西条旨子：カドミウムのウサギ血圧および腎交感神経発射に及ぼす影響、日本衛生学雑誌、42(2)、874-880、1987
- 9) 農林水産省, 2018, 「我が国における農産物中のカドミウム濃度の実態とカドミウムの摂取量」  
([http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k\\_cd/jitai\\_sesyu/01\\_inv.html](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/jitai_sesyu/01_inv.html),2018.9.3)

- 10) 厚生労働省,2017,「水質基準項目と基準値」  
(<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>,2018.9.3)
- 11) World Health Organization : Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth edition, 327-328, 2011
- 12) Emily W, Ruth E.P, Alan R.K et al: VITamins And Lifestyle Cohort Study: Study Design and Characteristics of Supplement Users, American Journal of Epidemiology, 159, 83-93, 2004
- 13) US Food and Drug Administration: US FDA Total Diet Study ? Market Baskets1991-2005, 2008
- 14) Scott V.A, Polly A.N, Emily W: Dietary cadmium and risk of invasive postmenopausal breast cancer in the VITAL cohort, Cancer Causes Control, 23, 845-854, 2012
- 15) Laura D.K.T, Carl-Gustaf E, Hans-Goran T et al.: Dietary cadmium exposure and kidney stone incidence: A population-based prospective cohort study of men & women, Environment International, 59, 148-151, 2013
- 16) Yukiko K, Tetsuo N, Nami K et al. : Cadmium Concentration in Current Japanese Foods and Beverages, Journal of Occupational Health, 44, 240-247, 2002