

厚生労働科学研究費
厚生労働科学特別研究事業

日本人のカドミウム曝露量推計に関する研究

平成 15 年度 中間解析報告書

主任研究者
独立行政法人 国立環境研究所 新田 裕史

平成 15 年 12 月

1. 目的

現在、国際的な食品規格を策定するコーデックス委員会において、カドミウム基準値の検討が行われているが、本年6月に開催されたFAO/WHO 食品添加物専門家会議(JECFA)におけるリスク評価の結果を受け、さらに本年7月に開催されたコーデックス委員会総会が基準値作成の迅速化を図るよう要請したことから、コーデックス委員会の食品添加物・汚染物質部会における検討が本格的かつ迅速化されることが予想される。また国内においても、厚生労働省が食品安全委員会に対して、カドミウムの健康影響評価を依頼している。

適正な基準値設定のためには、その科学的根拠となるリスク評価が不可欠であり、リスク評価の重要な柱である曝露評価を行うことが必要である。本研究では、カドミウム(以下、Cdとする)曝露において最も重要と考えられる食品経由の摂取について、曝露量推計のための統計的手法を検討し、作成した推計モデルに食品別カドミウム濃度および食品摂取量に関するデータを適用することにより、日本人全体での曝露量分布を推計することを目的とした。

1. 方法

1.1. 資料

食品摂取量については厚生労働省が実施している国民栄養調査のうち平成7年から平成12年までの6年間のデータベースをプールしたものをを用い、食品群別に摂取者割合並びに摂取量分布に関するデータを得た。この6年間は1日調査による個人単位の摂取量データが得られている。なお、以下の解析には20歳以上の成人でかつ妊娠していない者、約5万3千名のデータを体重1kg当たり1週間の摂取量に換算して用いた。

食品中のCd濃度については、農林水産省による農作物等に含まれるカドミウムの実態調査ならびに水産庁による水産物に含まれるカドミウムの実態調査の各データを用いた。また、輸入分の大豆および小麦のCd濃度として米国産濃度データを用いた。

食品流通関連データについては、大豆および小麦の国内産と海外産の消費割合を、食料需給表から用いた。

1.2. 推計方法

推計手順の概要を図1に示した。まず、食品摂取量として目的のためには長期平均摂取量を求める必要があるが、今回の中間解析では1日調査である国民栄養調査のデータをそのまま用いた。食品摂取量には各食品(群)間で相関がみとめられるので、推計にあつてはこの点も考慮した。中間解析では米類、小麦類、大豆類の3食品間の相関のみを考慮した(順位相関として米-小麦: -0.32、米-大豆: 0.23、小麦-大豆: -0.09を仮定)。一方、農水産物中のCd濃度は約130品目について得られている。しかしながら、この農水産物品目と国民栄養調査データベースに含まれる約千種類の食品とは1対1に対応していない。さらに、加工食品では複数の農水産品から作られているものもある。そのため、各食品に含まれる農水産物品の種類と量を示す係数(以下では、変換係数と呼ぶ)を求めなければならない。この変換係数については吉池¹⁾が残留農薬の曝露量試算のために示した値を用いた。なお、これに示されていない魚介類についてはすべて変換係数を1とし、すなわち水産物はそのまますべて食品として摂取すると仮定した。

推計はモンテカルロ法を用いて、約 100 種類の食品群別(表 1)の摂取量分布とそれらの食品群に農水産物中の Cd 濃度分布を掛け合わせることによって行った。実際には、摂取量と Cd 濃度について、それぞれの分布に従う乱数を発生させ、それを掛け合わせて Cd 摂取量を算出する操作を繰り返すことによって、Cd 摂取量分布を推計した。摂取量および Cd 濃度の理論分布として対数正規分布を仮定した。分布の性状は国民栄養調査およびカドミウムの実態調査から得られたそれぞれの平均値並びに標準偏差から推計したパラメータによって決定した。また、Cd 濃度データのうち、米、小麦、大豆以外の品目については、曝露への寄与が低かったり、試料数が十分ではなかったため、分布を仮定せず、中央値を固定値として用いた²⁾。Cd 濃度が定量下限(LOQ)以下の場合の取り扱いについては GEMS/Food のレポート³⁾に従って、LOQ 以下の割合が 60%以下のものは $LOQ \cdot 0.5$ を、それ以上の場合は 0(予測 1)もしくは LOQ 値を代入する(予測 2)という二通りの推計を記した。

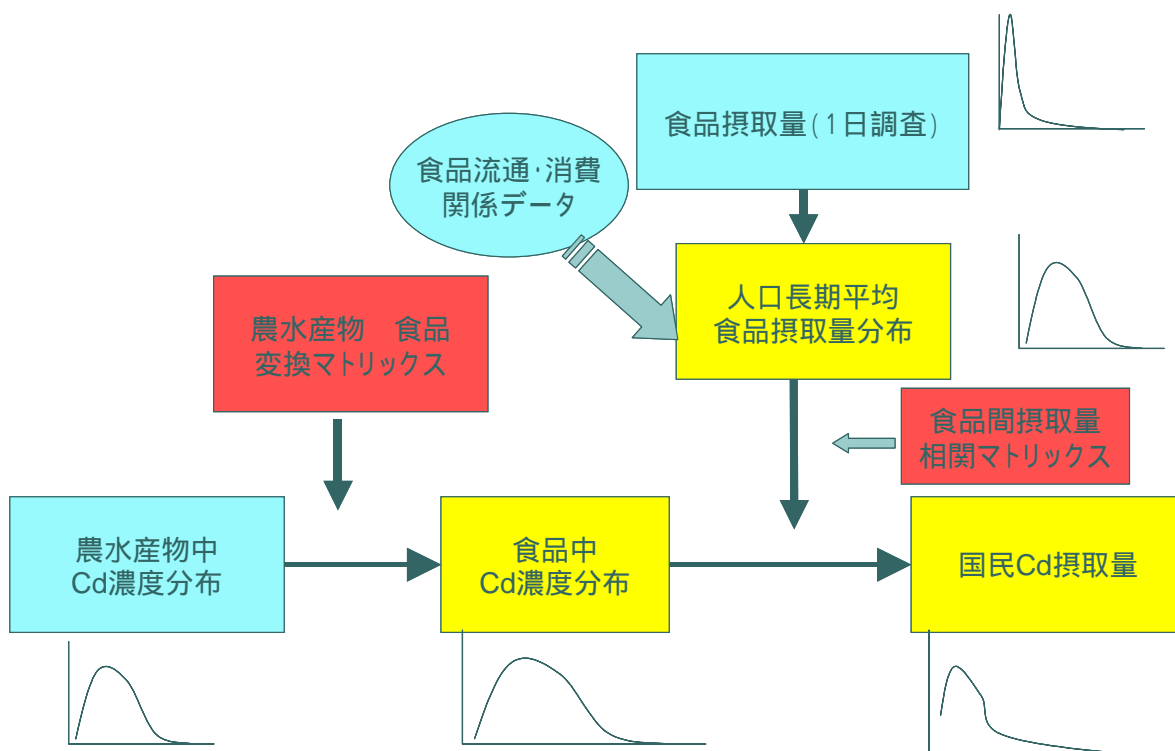


図 1. 推計手順の概要

注) 今回の中間解析では、1日調査である国民栄養調査のデータをそのまま長期平均摂取量として用いている。

表 1. 食品分類

分類	食品群
米類	米、米加工品、日本酒、せんべい類
小麦類	小麦類、カステラ・ケーキ、ビスケット類、その他の菓子類
大豆類	大豆、豆腐類、その他の大豆加工品
その他の穀類・豆類	大麦、ビール、ライ麦、そば、その他の穀類、小豆、グリーンピース、そらまめ、さやえんどう、さやいんげん、その他の未熟豆類
野菜類	ばれいしょ、里芋、ごぼう、甘藷、やまのいも、こんにゃく芋、大根、かぶ、人参、その他の根菜類、ほうれんそう、はくさい、小松菜、みずな、春菊、レタス、その他の葉菜類、にんにく、たまねぎ、ねぎ、その他の鱗茎類、なす、オクラ、トマト、スイートコーン、ピーマン、ししとう、きのこ類、アスパラガス、セロリ、ふき、キャベツ、カリフラワー、ブロッコリー、チンゲンサイ、きゅうり、カボチャ、スイカ、メロン類、その他うり科果菜、ごま、なたね油、みつば、パセリ、にら、クレソンその他、しょうが、くり、その他ナッツ、
果実類	柑橘類、りんご、なし、おうとう、もも、いちご、ぶどう、柿、キウイ、バナナ
肉類	牛肉、牛肉(内臓)、馬肉、豚肉、豚肉(内臓)、鶏肉、鶏肉(内臓)
魚介類	あさり、牡蠣、いか、たこ、その他軟体動物、棘皮類、いか塩辛、くるまえび、その他甲殻類、さけ、あじ、いわし、かつお、さば、たい、まぐろ、その他魚類、その他塩辛、魚卵

1.3. 試算シナリオ

Cd 摂取量分布は表 2 に示した 7 つのシナリオについて推計した。シナリオ 1 以外の各シナリオにおいては、基準値を超える濃度の Cd を含有する食品を流通させないということを前提としている。シナリオ 1 はいずれの食品についても Cd 基準値を設けないもの、シナリオ 2 は米のみ Cd 基準値を 0.4mg/kg とし、それ以上の濃度を含有する試料を除いたもの、シナリオ 3 はコーデックス委員会食品添加物・汚染物質部会で提案されている Cd 基準値案を越える濃度の試料を除いたもの、シナリオ 4～7 はコーデックス委員会の「食品中の汚染物質と毒素に関する一般規格 (GSCTF)」に規定されている ALARA (As Low as Reasonably Achievable) の原則をカドミウム実態調査の結果に適用して農林水産省が推定した代替基準値案(ただし、シナリオ 5～7 はシナリオ 4 について、米のみ基準値を変化させたもの)を超える濃度の試料を除いたものである。各シナリオに従った Cd 濃度の設定にあたっては、カドミウム実態調査データのうち、米類、小麦類、大豆類を除いて、品目毎にこれらの数値を超える試料を除外した中央値を算出した。米類、小麦類、大豆類については、シミュレーション実行時に対数正規分布に従う乱数のうち、設定した基準値を超えるものは除外することによって、推計を行った。

1.4. 推計に係る他の因子

米の搗精工程における Cd 含有量の変化データ⁵⁾をみると、玄米から精米への濃度変化はわずかであったので、両者の Cd 濃度は同等と見なした。以下では、玄米と精米を区別せずに米と表現している。また、小麦粉の製粉工程における Cd 濃度については減少がみとめられたので⁴⁾、小麦粉として 1 等粉から末粉までの平均値を用いて、玄麦の Cd 濃度の 0.65 倍とした。

小麦および大豆の Cd 濃度については、国内自給率を考慮して、輸入小麦および大豆の Cd 濃度として米国産小麦および大豆のデータ⁵⁾を用いた。

表 2. 試算シナリオ

品目		シナリオ(各数値mg/kg以上データを除いた場合)						
		1	2	3	4	5	6	7
穀類								
	精米	-	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5
	小麦	-	-	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
	米、小麦以外の穀類	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
豆類(完熟)								
	大豆	-	-	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5
	大豆以外の豆類	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
根菜								
	ごぼう	-	-	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
	さといも	-	-	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3
	ばれいしょ	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	ごぼう、さといも、ばれいしょ以外	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
葉菜								
	ほうれんそう	-	-	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
	ほうれんそう以外	-	-	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
鱗茎類(アリウム属)								
	にんにく	-	-	0.05	0.2	0.2	0.2	0.2
	にんにく以外	-	-	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1
ウリ科以外の果菜(キノコとスイートコーンを含む)								
	なす	-	-	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1
	オクラ	-	-	0.05	0.2	0.2	0.2	0.2
	トマト	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05
	トマト、なす、オクラ以外	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
茎菜								
	茎菜	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
アブラナ科野菜(結球するもの)								
	アブラナ科野菜	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ウリ科果菜								
	ウリ科果菜	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
豆類(未成熟)								
	豆科野菜	-	-	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
落花生								
	落花生	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
果実								
	果実	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
軟体動物(頭足類を含む)								
	軟体動物	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ハーブ								
	ハーブ	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

2. 結果

体重 1kg 当たり 1 週間の摂取量と Cd 濃度に基づき、シナリオ毎に試行回数 10 万回としてモンテカルロ法による推計を行った結果を表 3 に示した。用いたデータの体重の平均値は 57.8kg、中央値は 56.5kg であった。LOQ 以下の Cd 濃度の取り扱いの違いによる推計値の差(予測 1 と予測 2)は約 0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{週}$ であった。この差は LOQ 以下のデータを 0 とした場合と LOQ の値とした場合の違いによっている。図 2 にシナリオ 1(予測 1、予測 2)における Cd 摂取量推計値の分布を示した。左右対称ではなく高濃度側に裾をひいた分布となっていた。このため、平均値(算術平均)と中央値(50 パーティル)を比べると中央値の方が小さい値となっていた。食品摂取量および食品中 Cd 濃度の両者とも、左右対称ではなく高濃度側に裾をひいた対数正規分布を仮定したことが反映されている。シナリオ 1 とシナリオ 2 を比較すると中央値の違いはわずかであり、90 パーセンタイルや 95 パーセンタイルなど分布の裾でやや差がみられるのみである。シナリオ 3 ではシナリオ 1 および 2 と比べて、95 パーティルでは約 1 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{週}$ ほど低い値となっていた。シナリオ 4~7 までを比較すると、中央値の違いはわずかであり、分布の裾にやや違いが出ていた。

シナリオ 1 の場合の Cd 摂取量に対する食品分類別の寄与度(平均値ベース)を図 3 に示した。米類が全体の 50%の寄与を示していた。寄与度はシナリオ毎に変わるとともに、比較する統計量によっても異なる。図 4 に示すように食品群別の Cd 摂取量分布は高濃度側大きく裾を引いた分布となっている。このため、例えば全 Cd 摂取量の中央値と 95 パーセンタイルに対する各食品の寄与度は異なる。

表 3. シナリオ別 Cd 摂取量分布推計値

単位： $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{週}$

	シナリオ 1		シナリオ 2		シナリオ 3		シナリオ 4		シナリオ 5		シナリオ 6		シナリオ 7	
	予測 1	予測 2	予測 1	予測 2	予測 1	予測 2	予測 1	予測 2	予測 1	予測 2	予測 1	予測 2	予測 1	予測 2
平均値	3.04	3.35	3.00	3.31	2.76	3.07	2.84	3.14	2.94	3.24	2.98	3.29	3.01	3.30
標準偏差	2.11	2.16	1.97	2.01	1.63	1.65	1.70	1.71	1.87	1.87	1.93	1.96	2.03	2.01
25パーセンタイル	1.75	2.05	1.74	2.04	1.68	1.98	1.72	2.01	1.73	2.03	1.74	2.04	1.74	2.04
50パーセンタイル	2.50	2.81	2.49	2.80	2.37	2.68	2.44	2.74	2.47	2.78	2.48	2.79	2.49	2.79
75パーセンタイル	3.66	3.97	3.64	3.96	3.39	3.71	3.49	3.80	3.60	3.91	3.63	3.94	3.64	3.94
90パーセンタイル	5.36	5.65	5.28	5.60	4.72	5.05	4.87	5.17	5.13	5.42	5.23	5.53	5.28	5.56
95パーセンタイル	6.78	7.11	6.64	6.97	5.75	6.10	5.96	6.25	6.42	6.69	6.54	6.88	6.70	6.94
97.5パーセンタイル	8.35	8.76	8.15	8.55	6.92	7.27	7.13	7.39	7.80	8.07	8.01	8.41	8.34	8.51

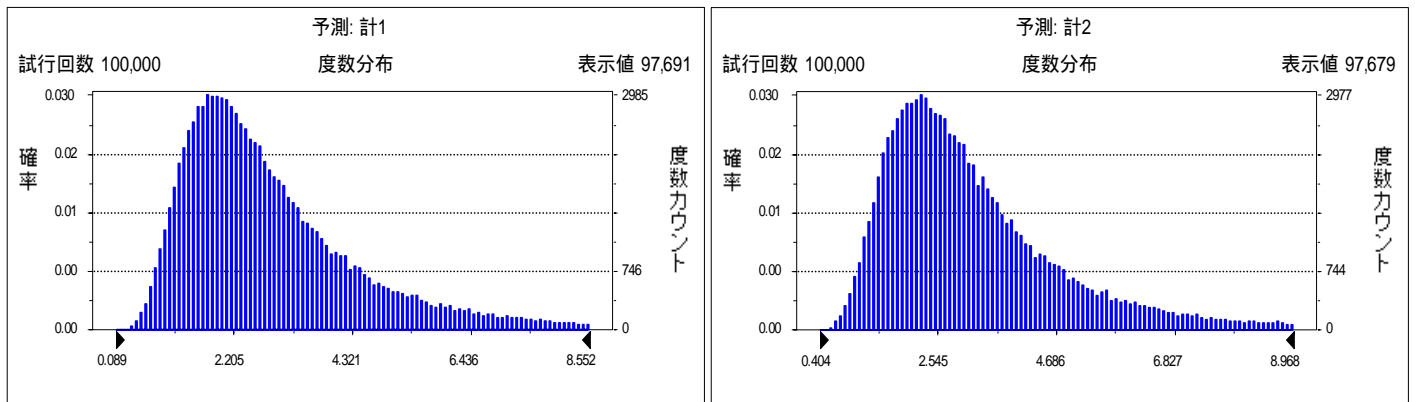


図 2. シナリオ 1(予測 1、予測 2)の場合の Cd 摂取量分布推計値

$\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{週}$

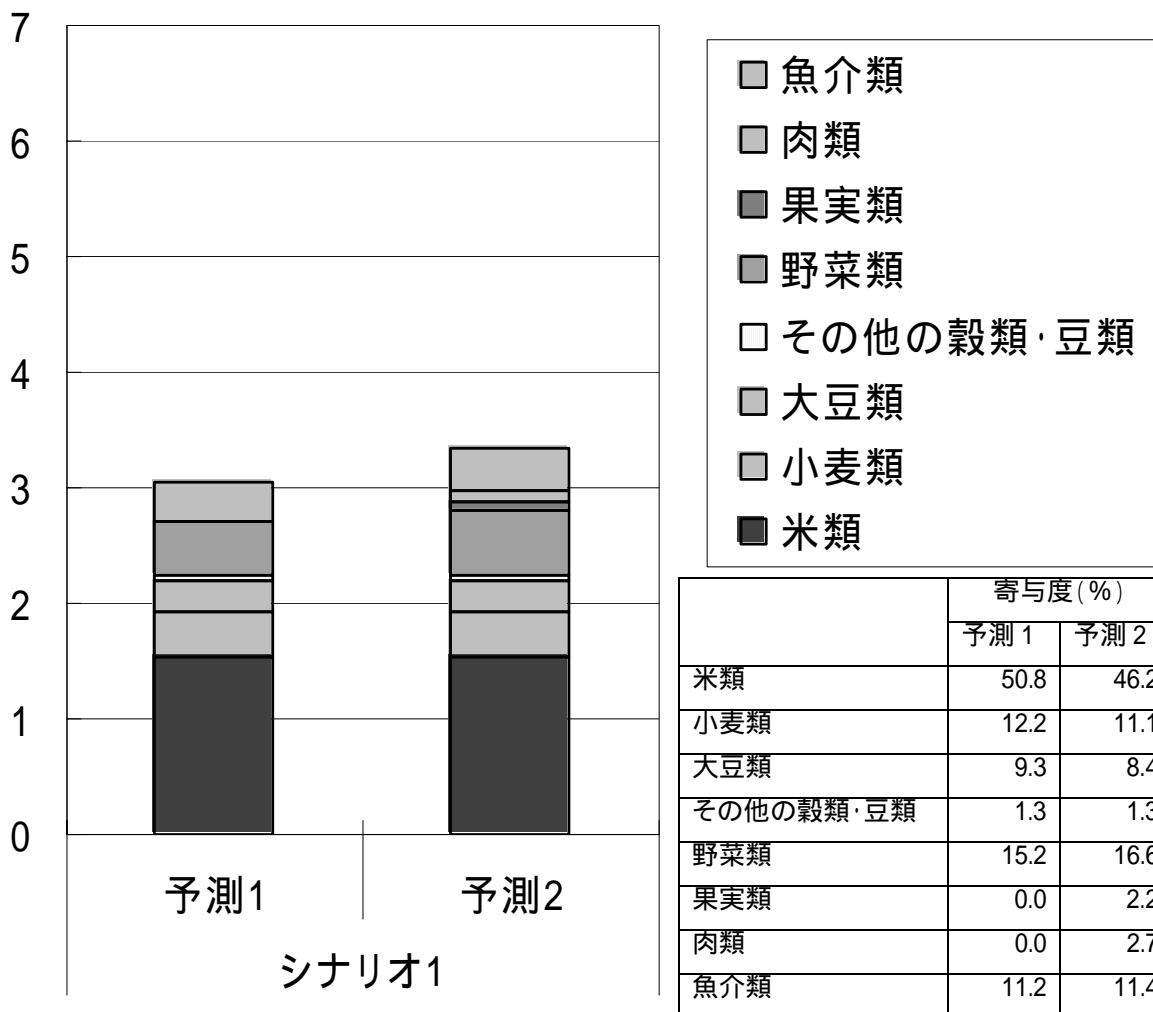


図 3. Cd 摂取量に対する食品分類別寄与度(平均値ベース)

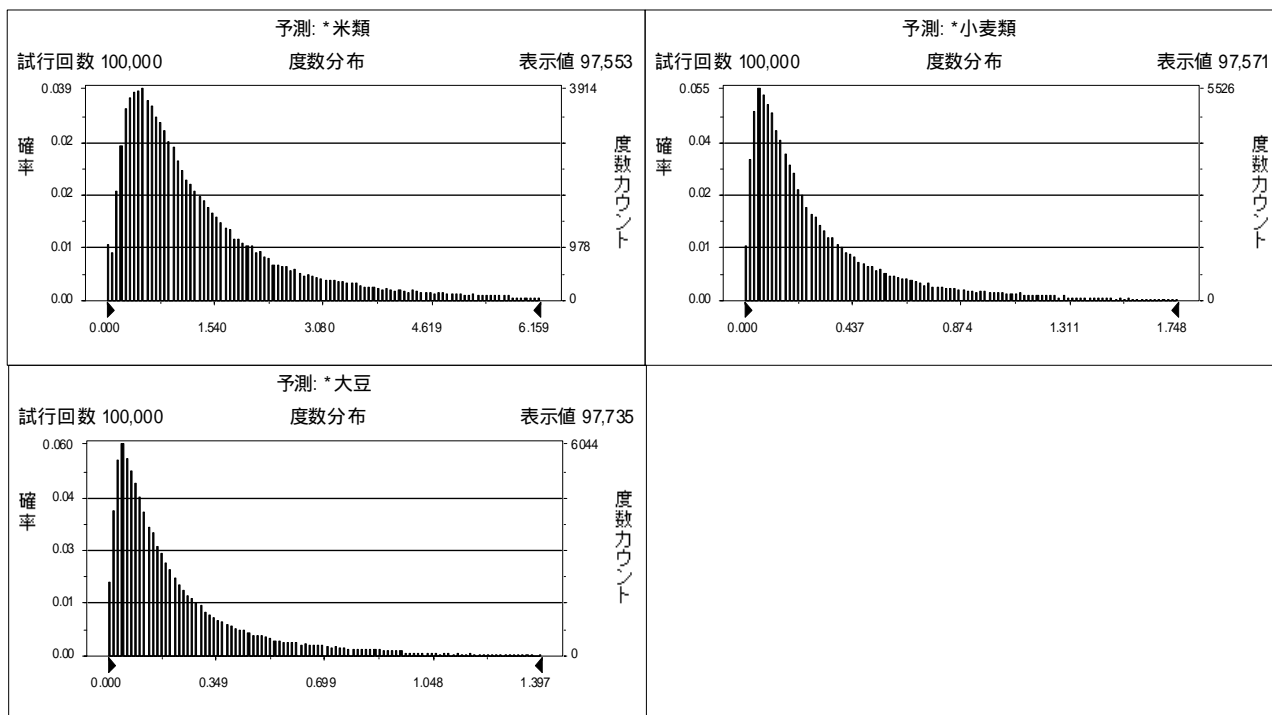


図 4. 米、小麦、大豆類による Cd 摂取量分布推計(シナリオ 1)

3. 考察

本報告で用いた Cd 曝露量推計の手法はモンテカルロ法によるシミュレーションを用いたものである。この手法には、食品摂取量および食品中 Cd 濃度の分布のそれぞれ代表値(平均値、中央値、等)を用いた方法に比べていくつか長所・短所がある。

最も大きな長所は両者の分布に片寄りがある場合に、その積である Cd 摂取量分布を比較的容易に精度良く推計できることである。また、今回の試算シナリオの検討で示したように、いくつかの仮定を変化させた場合の分布全体に対する影響を把握し易いことが挙げられる。さらに、日本における実態を反映していると考えられるシナリオ2において、平均体重を 57.8kg として平均値が予測 1 で 173、予測 2 では 191 $\mu\text{g}/\text{人}/\text{週}$ であり、厚生労働省が実施したトータルダイエツスタディの結果^{6,7)}、すなわち 192 $\mu\text{g}/\text{人}/\text{週}$ (1995 2000 年の平均)と類似していた。

一方、各食品別の摂取量および Cd 濃度にどのような確率分布を仮定するかによってシミュレーション結果が変わりうる。特に、95 パーセンタイル、97.5 パーセンタイルなど分布の裾を表す統計量はこの影響を受けやすいと考えられる。通常、このような影響の程度を評価するために、感度分析と呼ばれる手法により、仮定条件等が結果に与える影響を定量的に評価することが行われている。本報告では時間的制約から感度分析結果を示すことができなかった。したがって、表 3 で示されている各推計値の信頼度についての検討は不十分であり、特に 95 パーセンタイル、97.5 パーセンタイル等の数値は平均値、中央値に比べて、より不確実性が大きいことに留意する必要がある。また、真の分布よりも本報告で仮定した対数正規分布の裾が長い場合には、過大評価となっている可能性がある。

さらに、本報告で示した推計には、用いたデータに起因する不確実性や必要なデータが不備であることによる以下のような不確実性が含まれている。

まず、国民栄養調査データにはいくつかの制約がある。この調査は毎年 11 月に実施されているために、摂取量の季節変動が大きい食品の場合に過大ないし過小評価となる。平均値ベースでみた場合に Cd 摂取量に対して寄与が大きいと考えられる米、小麦、大豆類は季節変動がそれほど大きくないと考えられが、魚介類については季節変動が大きいと考えられるものが含まれている。また、本調査は 1 日調査であるために、対象者の摂取頻度分布など個人個人の摂取パターンに関するデータは得られない。本報告の推計に当たっては、対象集団の各食品別の摂取割合を当該食品の(個々人の)摂取確率の推計値としているが、その妥当性について検討が不十分である。特に、Cd 濃度が高い食品のうち、集団の摂取割合は低いが多食者(習慣的な摂取者)が存在するもの場合には過小評価となっている。この点は、95 パーセンタイルやそれ以上の Cd 摂取量分布の裾部分の推計でより影響が大きいと考えられる。

食品中 Cd 濃度データについては、一部の品目を除いて十分な検体数が得られている。しかしながら、これらの検体の分析値には検出限界以下の数値が多く含まれている。そのために、検出限界以下のデータをどのように扱うかによって、推計値がやや異なる結果となった。さらに、検出限界以上の分析値が少ない品目の場合には、品目毎の Cd 濃度分布のパラメータを決定することが難しく、そのため米、小麦、大豆類以外の品目については、分布を仮定せず、中央値に固定して推計を行った。結果的に、Cd 摂取量分布全体幅は実際よりも狭くなっている可能性がある。また、中央値を用いたことによってシナリオによる違いが明確に現れなかったことも考えられる。最終報告では米、小麦、大豆類以外の品目についても何らかの推計によりパラメータを決定して分布を仮定することによって Cd 摂取量分布に対する影響を評価する予定である。また、我が国の食料が外国からの輸入に依存していることは多くのデータで示されている。本報告では、国内自給率が低く、Cd 摂取量に対して寄与が大きいと考えられた小麦と大豆についてこの点を考慮した推計を行った。しかしながら、その他の輸入食品中の Cd 濃度データについては考慮しておらず、また小麦と大豆についても既存資料の数値を参照したものであり、推計が過大ないし過小となっている可能性がある。さらに、国民栄養調査が 900 以上の食品を対象としているのに対して、カドミウム実態調査でデータが得られているものは約 130 品目である。そのため Cd 濃度が対応づけられていない食品はかなりの数となり、個々には摂取割合が低く、摂取量も少ない食品が数多いが、これらの中に Cd 濃度の高いものがあれば全体として過小評価になっている可能性がある。これらの点については、Cd 摂取量の与える影響の大きい野菜等のデータ収集、輸入割合の大きい食品については既存資料の収集、更にはカドミウム実態調査が行われていない食品に関するデータを収集することにより、推定の精度を向上させることが可能と考えられる。

食品摂取量の食品群間の相関については、米、小麦、大豆のみを考慮しているため、その他の食品を含めた摂取量の相関関係が推計にどのような影響を与えるかについて今後検討する必要がある。また、本報告では Cd 濃度分布と摂取量分布の間が独立であると仮定している。したがって、例えばある食品について、大量摂取者ほど Cd 濃度の高いものを食べる傾向がある場合には、Cd 摂取量分布の裾の部分(高パーセンタイル)の推計に影響を与えることになる。

国民栄養調査で得られる食品とその原材料としての農水産物を対応させる変換係数については原則として既存資料をそのまま用いている。この資料は本来 Cd 摂取量推計を目的としたものではなく、加工食品中の重量変化、原材料としての割合などに基づくものであり、調理・加工による Cd 濃度の変化については考慮されていない。米および小麦についてはこの点を考慮した変換係数を用いたが、その他の食品については今後より詳細な検討が必要である。

シナリオによる Cd 摂取量の推計については、今回は、基準値を超える濃度の試料を除くことに

より推定を行ったが、実際には、生産者の汚染低減対策の取組により、分布全体がカドミウム低減の方向にシフトすることが想定されることから、そうした点についても考慮が必要と考えられる。

以上、今回使用したデータ、統計解析手法等の特性から過大評価や過小評価となる点について考察した。さらに、これらの要因が推計された Cd 摂取量分布の形状に影響を与える場合には、取り上げる統計量によって、影響の方向が異なる可能性も考慮する必要がある。例えば、中央値では過小評価となり、95 パーセンタイルでは過大評価となる場合もあり得る。本推定は、今後、更に精度向上に努める必要があるものの、現時点においては、利用可能なできる限りのデータ、統計解析手法を用いた推定を行ったものである。

4. まとめ

本報告では、現状で入手可能なデータに基づき食品経由の日本人成人の Cd 摂取量分布の推計を行い、食品に対する基準値の違いによるいくつかの試算の比較結果を示した。試算結果についてはいくつかの不確実性があり、今後、これらの不確実性を少なくするとともに、不確実性が試算結果にどの程度の影響を与えるかについてできる限り定量的に評価する必要がある。

引用文献

- 1) 吉池信男:残留農薬の暴露量試算のための食品摂取量基準データの検討 - 1995 ~ 1997 年国民栄養調査、食品衛生研究、2000、50、7-27.
- 2) Report of a Joint FAO/WHO Workshop (WHO Headquarteres, Geneva, 7-8 June 2000): Methodology for exposure assessment of contaminants and toxins in food, WHO/SDE/PHE/FOS/00.5, WHO, 2000.
- 3) World Health Organization: Instructions for Electronic Submission of Data on Chemical Contaminants in Food and the Diet, WHO Food Safety Department, Genova, 2003.
- 4) 守山智章、ほか:「搗精、製粉過程におけるカドミウムの動態解明」、厚生科学研究費補助金生活安全総合研究事業「食品中に残留するカドミウムの健康影響評価について」平成 13 年度分担研究報告書、2002
- 5) International Programme on Chemical Safety: Environmental Health Criteria 134 Cadmium, 1992.
- 6) 国立医薬品食品衛生研究所食品部:日本におけるトータルダイエット調査、2000
- 7) 松田えりこ、ほか:「日常食の汚染物質摂取量および汚染物モニタリング調査研究」、厚生科学研究費補助金生活安全総合研究事業「食品中の有害物質等の評価に関する研究」平成 13 年度分担研究報告書、2002