

行性であり、最終的には腎不全に至ることもあることが明らかにされている。また、1975年から1984年に全国8県のカドミウム汚染地域住民12,559人、非汚染地域住民6,435人について実施された、環境庁の研究班による健康影響調査の結果では、汚染地域住民202人に「近位尿細管異常の存在」が認められたと報告されている（日本公衆衛生協会カドミウム研究班、1989）。これはカドミウム暴露による腎障害がいかにかに特異的かを証明している。

### 8-3)カドミウムの骨への影響

カドミウムの骨影響は、骨軟化症と骨粗鬆症とに分けられる。近年、X線上では骨軟化症の所見が見られない人でも、新しい染色法（吉木法）により、類骨の増加が認められ、骨軟化症と診断すべき例が多くあることが明らかとなってきた。一方、骨粗鬆症についても、マイクロデンシトメトリー法を用いた調査により、カドミウム汚染地域住民では骨萎縮が強いことが明らかにされている。これらの事実はカドミウムの骨障害として従来骨X線上での改変層の存在を指標として判断していたのは、骨障害者の氷山の一角を発見してただけであり、その基盤には多くの骨障害を持つ人々が存在していたことを示している。

カドミウムが骨に影響を与える機序として第一に腎臓におけるビタミンDの活性化を阻害する機序、第二に消化管に作用してカルシウムの吸収を阻害する機序、第三に骨に直接作用してコラーゲン代謝を阻害する機序が考えられている。ヒトにおける調査では、第一の機序の存在は示されている（Nogawa et al., 1987）が、第二、第三の機序を示す成績はまだない。

### 8-4)カドミウム暴露の生命予後に与える影響

イ病患者、要観察者、および対照者としてこの2群に性、年齢を合わせた神通川流域住民で尿中に蛋白質、糖の検出されない人95人について、20年間にわたり死亡状況を追跡した結果では、イタイイタイ病患者は3.4年、要観察者は1.6年対照群より生存期間が短縮しており、また、生存率はイタイイタイ病患者12%、要観察者20%、対照群39%であった（Nakagawa et al., 1990）。

カドミウム汚染地域住民については、石川県梯川流域、富山県神通川流域、長崎県対馬の佐須川・椎根川流域住民について調査がされている。梯川流域では、住民2,408人を尿中レチノール結合蛋白質陽性と陰性群に分けて15年間死亡状況を比較した。その結果、レチノール結合蛋白質陽性群は陰性群に比し、男で1.7倍、女で1.4倍死亡確率が高いことが明らかとなった（Nishijo et al., 1995）。同地域3,178人を $\beta_2$ -ミクログロブリン陽性群と陰性群に分けて9年間にわたり追跡した成績では、 $\beta_2$ -ミクログロブリン陽性群は陰性群よりも男で1.4倍、女で1.8倍死亡確率が高いことが判明している（Nakagawa et al., 1993）。同様の成績は対馬でも報告されている（Iwata et al., 1991）。神通川流域では3,610人について、蛋白質、糖陽性群と陰性群を15年間追跡した結果、陽性群では男で1.3~1.4倍、女で2.0~2.2倍死亡確率が高かった（Matsuda et al., 2002）。このようにカドミウムによる腎障害を有する人では生命予後が悪化していることが明らかにされている。

一方、重松ら（1982）は神通川流域を米中カドミウム濃度により、高度汚染地区、軽度汚染地区、非汚染地区に分けて、25年間の死亡状況の比較を行い、死亡率は男では高度汚染地区、軽度汚染地区、非汚染地区の順で高く、女では非汚染地区が最も高いことを報告し

ている。しかし、神通川流域で米中カドミウム濃度別に居住者を15年間追跡した研究では、米中カドミウム濃度の高い地区で死亡率が高いことが報告されている(Ishihara et al., 2001)。この研究結果の違いは、調査方法の違いによると考えられるが、更に検討が必要である。

## 9) 食品特に米中カドミウム摂取耐容量

### 9-1) 日本における調査から求めた米中カドミウム摂取耐容量

カドミウム暴露の耐容値は量-反応関係に基づいて設定される。暴露量の指標としては、外部暴露量として米中カドミウム、これに基づいて計算される総カドミウム摂取量、内部暴露量の指標として尿中カドミウム濃度が用いられる。1日カドミウム摂取量の1/3~2/3は米に由来するために米中カドミウム濃度が外部暴露量の指標として日本では用いられている。尿中カドミウム量は体内カドミウム量を反映することが人においても動物実験でも報告されている。人体影響の指標としては、腎臓が標的臓器であることにより、特に近位尿細管機能を反映する低分子量蛋白質(β<sub>2</sub>-ミクログロブリン、レチノール結合蛋白質、α<sub>1</sub>-ミクログロブリンなど)が用いられる。日本ではカドミウムによる量-反応関係、量-影響関係が観察されているカドミウム汚染地域は秋田県小坂町、石川県梯川流域、富山県神通川流域である。なかでも梯川流域、神通川流域で多くの報告がある。表5に両地域における量-反応関係と耐容値に関する主な報告を示す。

最も早く量-反応関係と耐容値を報告したのは河野(1976)である。河野は石川県梯川流域のカドミウム汚染地域において、集落別の米中カドミウム濃度と尿中レチノール結合蛋

表5 尿中カドミウム濃度および米中カドミウム濃度の許容値

著者	モデル式	指標	許容値	年齢
<b>梯川流域</b>				
1) Hayano et al. (1996)	ロジスティック	尿中β <sub>2</sub> -ミクログロブリン	尿中Cd 男 1.6-3.0 μg/gcr. 女 2.3-4.6 μg/gcr.	50才以上
2) 河野(1976)	回帰式	尿中レチノール結合蛋白質	米中Cd 男女 0.13-0.19 ppm	50才以上
3) Nakashima et al. (1997)	回帰式	尿中β <sub>2</sub> -ミクログロブリン, α <sub>1</sub> -ミクログロブリン, 尿中蛋白質, 糖, アミノ酸	米中Cd 男 0.03-0.34 ppm 女 0.00-0.26 ppm	50才以上
4) Nogawa et al. (1989)	回帰式	尿中β <sub>2</sub> -ミクログロブリン	Cd総摂取量 男女 1.7 g	50才以上
5) Kido et al. (1993)	ロジスティック	尿中α <sub>1</sub> -ミクログロブリン	Cd総摂取量 男 2.0 g, 女 2.3 g	50才以上
<b>神通川流域</b>				
6) Osawa et al. (2001)	回帰式	尿中蛋白質, 糖, 蛋白質・糖同時陽性	米中Cd 0.05-0.20 ppm (立毛)	50才以上 30年以上
7) Watanabe et al. (2002)	ロジスティック	尿中蛋白質, 糖, 蛋白質・糖同時陽性	米中Cd 50才 男 0.15 ppm (立毛) 女 0.17 ppm (40, 50, 60才で算出)	出生以来 同一集落 居住

白質陽性率との間に有意の相関があり、両者の回帰直線より求められた米中カドミウムの耐容値は0.13~0.19 ppmであると報告している。米中カドミウム濃度は1974年産米、尿所見は1974~1975年の50才以上の全住民を対象にした検診成績を用いている。Nakashima et al. (1997)が1981~1982年における50才以上の全住民を対象にした検診における住民の各種物質の尿中濃度を用いて、同様に米中カドミウム濃度の耐容値を求めた。その結果、男で0.03~0.34 ppm、女で0.00~0.26 ppmであった。また、 $\beta_2$ -ミクログロブリンを指標にした場合、男で0.14 ppm、女で0.00 ppmであったと報告している。なお、カドミウム総摂取量に基づく耐容値では、男女共1.7 g(Nogawa et al., 1989)、あるいは男2.0 g、女2.3 g(Kido et al., 1993)という値が得られている。

神通川流域で尿中蛋白質、糖を指標として同様に米中カドミウムの耐容値を求めた結果では0.05~0.20 ppmであった(Osawa et al., 2001)。市販されている米中カドミウム濃度の平均値が0.07 ppmであることを考えれば、耐容値と市販米中カドミウム濃度との間に差はないと考えられる。

一方、内部暴露指標を用いた場合、梯川流域のカドミウム汚染地で尿中 $\beta_2$ -ミクログロブリンとの間に量-反応関係が存在し、求められた耐容値は男1.6~3.0  $\mu$ g/gクレアチニン(cr.)、女2.3~4.6  $\mu$ g/g cr.であり、これは非汚染地域住民の尿中カドミウム濃度の平均値とほぼ同じ値であった(Hayano et al., 1996)。このように米中カドミウム濃度、尿中カドミウム濃度の耐容値は非汚染地域における米中・尿中カドミウム濃度との間には差が認められず、カドミウム非汚染地域に居住する住民にもカドミウムによる影響の存在が推察出来る。事実、非汚染地域住民においても、尿中カドミウム濃度と尿中低分子量蛋白質排泄量との間には、年令とは独立に両者間に量-反応関係、量-影響関係の存在することが報告されている(Oo, Y.K. et al., 2000; Yamanaka et al., 1998; Suwazono et al., 2000)。一方、スエーデンからの報告では、1日カドミウム摂取量の耐容値は、体重70 kgの人で30  $\mu$ gとされている(Järup et al., 1998)。この値は0.43  $\mu$ g/kg体重/日に相当し、日本人の場合に当てはめるとすれば、体重50 kgを平均体重としているので22  $\mu$ g/日が耐容値と言うことになる。このように日本においても外国においてもカドミウムの耐容値は極めて低い値であることが報告されており、耐容値の設定は緊急の課題である。

## 9-2) 国際的な基準値等から求めた米中カドミウム摂取耐容値

次に、すでに述べたJECFAによる暫定耐容1週間摂取量(PTWI)である7  $\mu$ g/kg体重すなわち1  $\mu$ g/kg体重/日、およびIPCSによるカドミウム摂取量140-260  $\mu$ g/日、累積摂取量2,000 mgから米中カドミウムの値を計算する。また、CCFACによる米の最大基準値案0.2 ppmから体重1 kg、1日当たりのカドミウム摂取量を計算する。その際、米の摂取量は170 g/日、米からのカドミウム摂取率を50%、日本人の平均体重を50kgとした。なお、Sherlock and Walters(1983)は、10%の人はある食品について平均値の2倍、2.5%の人は3倍摂取しており、極端な摂取量の評価には97.5%値を用いる方が良いと述べていることも考慮して、平均値と共に平均値の2倍および3倍摂取についても算出した。

### 9-2-1) JECFAによる1 $\mu$ g/kg体重/日から計算した米中カドミウムの耐容値

1  $\mu$ g/kg体重/日は、50 kgの人では50  $\mu$ g/日に相当する。米からの摂取率が50%であるので、

米から25  $\mu\text{g}$ /日摂取になる。このカドミウムが170 gに含まれているのであるから、米中濃度は $25 \mu\text{g} \div 170 \text{g} = 0.15 \text{ ppm}$ となる。米を2倍および3倍摂取する人では、それぞれ $25 \div 340 = 0.08 \text{ ppm}$ および $25 \div 510 = 0.05 \text{ ppm}$ となる。平均値でもCCFACの米中カドミウム最大基準値案0.2 ppmよりも低値であり、97.5%値の人の場合には遙かに低値である。

### 9-2-2) IPCSによる値から計算した米中カドミウムの耐容値

累積摂取量2,000 mgは70年および50年摂取した場合について計算すると、それぞれ78  $\mu\text{g}$ /日および110  $\mu\text{g}$ /日に相当する。そこで、1日当たり摂取量78  $\mu\text{g}$ 、110  $\mu\text{g}$ 、140  $\mu\text{g}$ 、260  $\mu\text{g}$ について計算した。米中カドミウム濃度の耐容値は表6の通りである。この場合、平均値の米摂取量では0.23~0.76 ppmであるが、97.5%値の人の場合は0.08~0.25 ppmとCCFACの基準値案0.2 ppmに近い値か、それよりも遙かに低い値となっている。

表6 IPCSの値から計算した米中カドミウムの耐容値

米摂取量	78 $\mu\text{g}$ /日	110 $\mu\text{g}$ /日	140 $\mu\text{g}$ /日	260 $\mu\text{g}$ /日
170g/日	0.23 ppm	0.32 ppm	0.41 ppm	0.76 ppm
340g/日	0.11 ppm	0.16 ppm	0.21 ppm	0.38 ppm
510g/日	0.08 ppm	0.11 ppm	0.14 ppm	0.25 ppm

### 9-2-3) 米のCCFAC最大基準値案0.2 ppmから1日体重1kg当たりのカドミウム摂取量の計算

米からの1日カドミウム摂取量は、米摂取量の平均値で $0.20 \times 170 = 34 \mu\text{g}$ であり、食品全体からの摂取量は $34 \times 2 = 68 \mu\text{g}$ となる。従って、 $68 \div 50 = 1.36 \mu\text{g/kg}$ 体重/日となる。平均値の2倍および3倍摂取する人は、それぞれ $2.72 \mu\text{g/kg}$ 体重/日および $4.08 \mu\text{g/kg}$ 体重/日となる。米摂取量が平均値の人でも、JECFAの $1 \mu\text{g/kg}$ 体重/日を超え、97.5%値の人では4倍強の値となっている。従って、米のCCFAC最大基準値案0.2 ppmは低すぎると言うことはなく、むしろやや高めめの値である。

## 10) 日本でカドミウム汚染が深刻な理由

以上述べたように、日本におけるカドミウム汚染は深刻であり、日本における有害金属汚染のなかで最も重要な問題であろう。次に、その理由について考察する。

まず第1に、日本にはカドミウムをその鉱石に含む非鉄金属鉱山が多くあり古くから稼行していたためであろう。現在、稼行中の鉱山は少ないが、廃鉱の坑道や膨大な過去の廃さい堆積場から廃水と共にカドミウムが流出しているためであろう。

第2に、日本のカドミウム生産量および消費量は非常に多い。例えば、1995年における日本のカドミウム生産量は2,629tで世界の全生産量の14.3%を占め、第1位であり、消費量は8,364 tで世界の43.3%を占め、圧倒的に世界第1位である。狭い国土で生産量、消費量が多ければ、カドミウム製品の生産、消費、廃棄の過程で環境に排出されるカドミウム量が多いことは明らかであろう。事実、通産省(1970)の調査によれば、過去において膨大な量のカドミウムがカドミウム使用工場から排出されている(浅見, 2002a)。

なお、日本の土壌はカドミウム濃度が高いので玄米中カドミウム濃度が高いのだ。ある

いは、日本には火山灰土壌が多いので玄米中カドミウム濃度が高いのだということがしばしば語られると言う。しかし、日本土壌のカドミウム濃度が諸外国に比べて特に高いということはない。また、非汚染火山灰土壌中カドミウム濃度が特に高いということもない。さらに、火山灰土壌はカドミウムを良く蓄積するが、火山灰土壌に蓄積されたカドミウムは水稻によって吸収されにくい(浅見, 2002b)。また、水田土壌は水を多く含んでいるので、畑土壌よりもカドミウムが溶解し易く、そのため水稻の方が畑作物よりもカドミウムを多く吸収すると言う人がいる。しかし、水田土壌は湛水期間中に還元状態が発達し、土壌中の硫酸が硫化物イオンに変化し、この硫化物イオンがカドミウムと反応して硫化カドミウムになって沈殿し、水稻によって吸収されにくくなることは、農学研究者の常識になっている。すなわち、畑作物の方が水稻よりカドミウムを吸収しやすい。

## 1 1) 結 論

現在考えられているカドミウムの摂取耐容量と現実のカドミウムの摂取量との差は非常に少ない。したがって、

- 1) CCFACの最大基準値案を受け入れ、日本における食品中カドミウムの耐容基準値とすべきである。
- 2) 食品中カドミウム濃度および摂取カドミウム量のモニタリングを継続的に行い、その結果を公表すべきである。
- 3) カドミウムによる健康被害者<sup>を</sup>救済するために、腎障害および神通川流域以外のイタイイタイ病を公害病と認定すべきである。
- 4) カドミウム公害を無くすために、カドミウムの環境への放出を無くすべきである。そのためには、当面、カドミウムの生産、使用量を減らし、カドミウムのリサイクル率を高め、カドミウムの環境への放出を厳しく制限すべきである。

## 引用文献

- Anwar,R.A., Langham,R.F., Hoppert,C.A., Alfredson,B.V. and Byerrum,R.C.(1961) Chronic toxicity studies III.Chronic toxicity of cadmium and chromium in dogs, Arch. Environ. Health, 3:456-460.
- 浅見輝男(2001a)日本土壌の有害金属汚染, p. 20-21, アグネ技術センター.
- 浅見輝男(2001b)同上, p.162-164.
- 浅見輝男(2002a)1970年におけるカドミウム使用工場の排水中カドミウム濃度と排出量 —通商産業省公害保安局の調査から—, 金属, 72:334-338.
- 浅見輝男(2002b)日本土壌特に火山灰土のカドミウム濃度, 人間と環境, 28:10-20.
- Elkins, H.B.(1959)The Chemistry of Industrial Toxicology, 2nd ed., p.34-39, 256, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Friberg, L., Piscator, M. and Nordberg, G.F. (1971) Cadmium in the Environment, p.88, C.R.C., Ohio.
- 群馬県農業試験場(1970)昭和44年度碓氷川流域環境汚染対策調査 碓氷川流域土壌・農作

- 物中のカドミウム等に関する分析調査並びに改良対策試験成績（昭和45年3月）．  
橋本道夫(1988)私史環境行政, p.138, 朝日新聞社.
- Hayano, M., Nogawa, K., Kido, T., Kobayashi, E., Honda, R., Tsuritani, I.(1996) Dose—  
response relationship between urinary cadmium concentration and  $\beta_2$ -microglobulin using  
logistic regression analysis, Arch Environ. Health, 51:162-167.
- 池辺克彦, 西宗高弘, 田中涼一(1991a)ICP発光分光法による食品中の17金属元素量につい  
て—穀類, 豆類及びその加工品, 海藻類及び種実類—, 食衛誌, 32:48-56.
- 池辺克彦, 西宗高弘, 田中涼一(1991b)ICP発光分析法による食品中の17金属元素量につい  
て—魚介類—, 食衛誌, 32:336-350.
- Ikeda, M., Zhang, Z.-W., Moon, C.-S., Shimbo, S., Watanabe, T., Nakatsuka, H., Matsuda-  
Inoguchi, N., Higashikawa, K.(2000) Possible effects of environmental cadmium exposure of  
kidney function in the Japanese general populations, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 73:15-  
25
- Ishihara, T., Kobayashi, E., Okubo, Y., Suwazono, Y., Kido, Nishijyo, M., Nakagawa, H., Nogawa,  
K.(2001) Association between cadmium concentration in rice and mortality in the Jinzu River  
basin, Japan, Toxicology, 163:23-28.
- 石崎有信・福島匡昭・坂本倫子(1970)生物内のCdの分布について（第2報）食品のCdおよび  
Zn含有量, 日衛誌, 25:207-222.
- Iwata, K., Saito, H., Moriyama, Y., Nakano, A. (1991) Association between renal tubular  
dysfunction and mortality among residents in a cadmium polluted area, Nagasaki, Japan,  
Tohoku J. Exp. Med., 164:93-102.
- Järup, L., Berglund, M., Elinder, C.G., Norberg, G., Vahter, M.(1998) Health effects of cadmium  
exposure – a review of the literature and risk estimate, Scand. J. Work. Environ. Health, 24:7-  
51.
- 河野俊一(1976)産米中カドミウム濃度と各種検査の有所見率の関係について, 梯川流域住  
民健康調査報告書（石川県厚生部）, p.94-99.
- Kido, T., Shaikh, Z. A., Kito, T., Honda, R. and Nogawa, K. (1993) Dose-response relationship  
between total cadmium intake and metallothioneinuria using logistic regression analysis,  
Toxicology, 80:207-215.
- 厚生省(1982)食品含有微量重金属等調査の結果について, 環境衛生局食品衛生課長通知,  
食品衛生研究, 32(8):72-85.
- Matsuda, T., Kobayashi, E., Okubo, Y., Suwazono, Y., Kido, T., Nishijo, M., Nakagawa, H., and  
Nogawa, K.(2002) Association between renal dysfunction and mortality among inhabitants in  
the region around the Jinzu River basin polluted by cadmium, Environ. Res., 88:156-163.
- 森次益三・小林 純(1963)生体内における微量金属の研究（第2報）白米中のカドミウム含  
有量, 農学研究, 50(1):37-49.
- Nakagawa, H., Tabata, M., Morikawa, Y., Senma, M., Kitagawa, Y., Kawano, S., Kido, T.(1990)  
High mortality and shortened life-span in patients with Itai-itai disease and subjects with  
suspected disease, Arch. Environ. Health, 45:283-287.
- Nakagawa, H., Nishijo, M., Morikawa, Y., Tabata, M., Senma, M., Kitagawa, Y., Kawano, S.,

- Ishizaki, M., Sugita, N., Nishi, M., Kido, T., Nogawa, K. (1993) Urinary  $\beta_2$ -microglobulin concentration and mortality in a cadmium polluted area, *Arch. Environ. Health*, 48:420-435.
- Nakashima, K., Kobayashi, E., Nogawa, K., Kido, T., Honda, R. (1997) Concentration of cadmium in rice and urinary indicators of renal dysfunction, *Occup. Environ. Med.*, 54:750-755.
- 中山憲司, 神 和夫, 都築俊文(1995)ホタテガイ中腸腺に蓄積したカドミウムに関する研究, 北海道立衛生研究所報, 45 : 13-20.
- 日本公衆衛生協会カドミウム研究班(1989)カドミウムによる環境汚染地域住民健康調査, 環境保健レポートNo.56, 上巻, p.69-345.
- Nishijo, M., Nakagawa, H., Morikawa, Y., Tabata, M., Senma, K., Takahara, H., Kawano, S., Nishi, M., Mizukoshi, K., Kido, T., Nogawa, K., (1995) Mortality of inhabitants in a area polluted by cadmium: 15 years follow up, *Occup. Environ. Med.*, 52:181-184.
- Nogawa, K., Tsuritani, I., Kido, T., Honda, R., Yamada, Y., and Ishizaki, M. (1987) Mechanism for bone disease found in inhabitants environmentally exposed to cadmium: decreased serum  $1\alpha, 25$ -dihydroxyvitamin D level, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 59:21-30.
- Nogawa, K., Honda, R., Kido, T., Tsuritani, I., Yamada, Y., Ishizaki, M., and Yamada, H. (1989) A dose-response analysis of cadmium in the general environment with special reference to total cadmium intake limit, *Environ. Res.*, 48:7-16.
- 農林水産省(2002a)インターネットホームページ (平成14年7月5日) .
- 農林水産省(2002b)インターネットホームページ (平成14年12月2日) .
- 岡 威, 甲山祥彦, 末木賢二, 住本健夫, 田口修三, 田中涼一(1987)魚介類中のHg, Cd, Zn, Mn, Cr, Pb, Cu, Asの含有量と一日重金属摂取量, 大阪府立公衛研報, 食品衛生編, 18: 47-58.
- 小野塚春吉, 雨宮 敬, 水石和子, 山野辺秀夫, 藤井 孝, 大西和夫(1999)都内搬入米におけるカドミウム, 銅, ヒ素の含有量について (第2報) -1981年から1998年までの試験成績の概要-, 東京衛研年報, No.50:158-166.
- 小野塚春吉(2002)環境化学物質による食品汚染-主としてカドミウムによる米の汚染問題を考える-, 環境展望, Vol.2, p.105-132, 日本科学者会議公害環境問題研究委員会環境展望編集委員会編, 実教出版.
- Oo, Y.K., Kobayashi, E., Nogawa, K., Okubo, Y., Suwazono, Y., Kido, T., Nakagawa, H. (2000) Renal effects of cadmium intake of a Japanese general population in two areas unpolluted by cadmium, *Arch. Environ. Health*, 55:98-103.
- Osawa, T., Kobayashi, E., Okubo, Y., Suwazono, Y., Kido, T., and Nogawa, K. (2001) A retrospective study on the relation between renal dysfunction and cadmium concentration in rice in individual hamlets in the Jinzu River basin, *Environ. Res.*, 86:51-59.
- Sherlock, J. and Walters, B. (1983) Dietary intake of heavy metals and its estimation, *Chemistry and Industry*, 4 July : 505-508.
- 重松逸造, 簗輪真澄, 永井正規, 大村外志隆, 竹内和子(1982)カドミウム環境汚染地域住民の死因に関する疫学調査研究 (補遺) -富山県における汚染程度別死亡率の検討, 環境保健レポートNo.48, p.118-136.
- Suwazono, Y., Kobayashi, E., Okubo, Y., Nogawa, K., Kido, T., and Nakagawa, H. (2000) Renal