

B-34 バングラデシュ井戸水ヒ素汚染地域における食物中ヒ素の分析 および摂取量に関する考察

北海道大学大学院工学研究科 ○梁瀬達也

同上 大野浩一

同上 亀井翼

北海道大学創生科学研究機構 眞柄泰基

1. はじめに

バングラデシュでは 1990 年代に井戸水のヒ素汚染が明らかとなり、ヒ素汚染の状況やそのメカニズムなどについて多くの研究がされてきたが、根本的な解決には至っていないのが現状である。

本研究室では以前、高濃度のヒ素を含む灌漑用水で栽培された稲中のヒ素を分析した。その結果、コメよりも稲の茎葉部に多くのヒ素が含まれることが明らかとなった¹⁾。このため茎葉部を可食部とする野菜のヒ素汚染が懸念された。そこで本研究は、バングラデシュでも特にヒ素汚染が深刻であるナワブガンジ地区において、コメ、野菜、肉などの食物を採取し、これらの食物中のヒ素含有量を明らかにすること、また各食物群が全体のヒ素摂取量に対してどれくらい寄与しているか考察することを目的とした。

2. 研究方法

分析に用いた食物は 2002 年 3 月、4 月、2003 年 2 月、8 月に、バングラデシュのナワブガンジ地区の家庭菜園、およびマーケットで採取した。これらの試料は超純水で洗浄した後、冷暗所に保管した。測定に際し、セラミックナイフを用いて可食部以外を切除して凍結乾燥させ、その後乳鉢で粉碎した。試料の分解にはマイクロウェーブ試料分解装置 (Ethos TC: Milestone General) を、測定には ICP/MS (HP-4500: Agilent) を用いた。分解の際には超高純度の硝酸、過酸化水素 (Ultra pur grade: 関東化学) を用い、肉のサンプルにはそれぞれ 3ml、2ml、その他のサンプルにはそれぞれ 4ml、1ml 添加した。また、サンプルと並行して Blank の分解・測定も行った。分解・測定の精度を確認するため、3 種類の標準試料 (Rice Flour: SRM1568a、Spinach leaves: SRM1570a、Bovine Muscle Powder: RM8414: from National Institute of Standards and Technology: NIST) を分析した。

Table 1 Rice Flour 分析

	observed value (mg/kg)	certified value (mg/kg)	CV (%)	回収率 (%)
Al	4.5±0.5	4.4±1.0	13.5	102.8
Mn	18.±0.1	20±1.6	0.8	95.2
Fe	6.5±0.6	7.4±0.9	9.2	86.0
Cu	2.1	2.4±0.3	1.1	89.3
Zn	18.4±0.6	19.4±0.5	3.1	84.6
As	0.31±0.02	0.29±0.03	6.4	106.9
Se	0.37±0.04	0.38±0.04	8.6	97.4

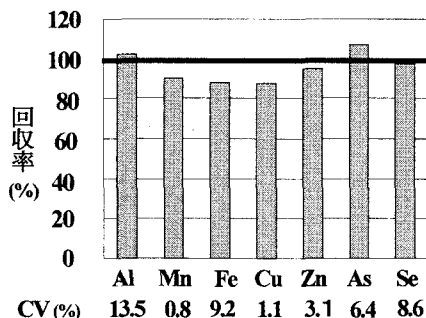


Fig.1 Rice flour 分析結果

3. 結果

3. 1 標準試料分析結果

Table1 と Fig.1 に Rice flour の分析結果を示す。Certified Value は NIST が示す認証値、回収率は Certified Value に対する Observed Value (測定値) の割合、CV (coefficient of variance) は 3 回測定における変動係数を表す。ヒ素およびその他の重金属類の回収率は 100% 前後の良い回収を示しており、CV も Certified Value 自体の変動が大きい Al (4.4 ± 1.0) 以外は 10% 以下であることがわかる。Spinach leaves や Bovine Muscle Powder においては、標準試料中の含有量自体が極めて少ない元素があり、これらの元素で回収率が大きくなる

(最大258%) 傾向があった。この傾向はそれぞれ約10回にわたる分解・測定で見られたが、CVが15～20%であることから、精度には問題ないと考えられる。

3. 2 サンプル分析結果

分析の結果、各食物群中における乾燥重量 1kg あたりのヒ素含有量の平均値と標準偏差は Fig.2 のようになり、コメ (n=6): 0.25 ± 0.11 mg/kg-dry、葉野菜 (n=5): 0.42 ± 0.22 mg/kg-dry、その他の野菜 (n=7): 0.13 ± 0.13 mg/kg-dry、肉 (n=2): 0.23 ± 0.04 mg/kg-dry、果物 (n=3): 0.07 ± 0.06 mg/kg-dry であった。コメ中のヒ素濃度は採取する地点によってばらつきが見られ、比較的多くのヒ素が含まれていた。肉にはコメと同程度のヒ素が含まれており、果物に含まれるヒ素は少なかった。葉野菜中のヒ素濃度が最も多く、その中でも現地で Lal Shak と呼ばれるサンプルには 0.72 mg/kg-dry という高濃度のヒ素が含まれていた。

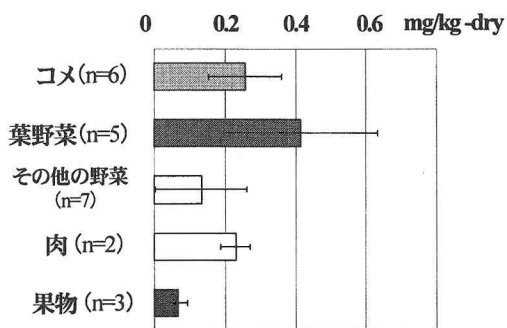


Fig.2 乾燥重量あたりの食物群別ヒ素濃度

4. 考察

4. 1 各食物群の平均1日摂取量の設定

1日ヒ素摂取量をもとめるため、各食物群の平均1日摂取量を設定した。現地の聞き取り調査で得た個々の食物の1日摂取量を、測定した含水率、もしくは文献値の含水率²⁾を用いて乾燥重量になおし、食物群にまとめて平均1日摂取量を設定した。Table 2に、各食物群の含水率と設定した平均1日摂取量を示す。なお、設定したコメの平均1日摂取量は、同じくヒ素汚染地域であるインド西ベンガル州における平均1日摂取量²⁾とほぼ一致している。これと分析結果を用いて、食物からの1日ヒ素摂取量をもとめた。

Table 2 各食物群の含水率と平均1日摂取量 (成人)

		含水率 (%)	(g-dry/day)
野菜	コメ	5.0*	710
	葉野菜	91.4~94.7**	10
	その他の野菜	75~84**	60
肉		58.3~65.5**	10
果物		27.8~90.6**	180

*文献値²⁾ **測定値

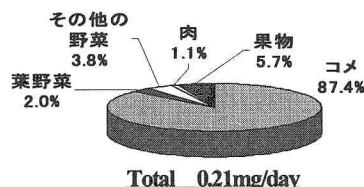


Fig.3 食物からの1日ヒ素摂取量～成人～

4. 2 食物からの1日ヒ素摂取量

Fig.3 に成人における食物からの1日ヒ素摂取量とその内訳を示す。食物からの1日ヒ素摂取量は成人で 0.21 mg/day であり、Fig.3 から全体のヒ素摂取量に対するコメからのヒ素摂取量が最も多いことがわかる。コメのヒ素濃度は葉野菜に比べると少ないが、当地の主食として多く摂取されているため、全体のヒ素摂取量に対する寄与率が大きくなった。これに対し、最もヒ素濃度が高かった葉野菜は、食物としての摂取量が少ないため、寄与率が小さくなったと考えられる。

4. 3 水を含めた1日ヒ素摂取量

次に、水中のヒ素濃度を2通り設定し、水からのヒ素摂取量を含めた1日ヒ素摂取量をもとめた。なお、1日に飲む水の量は2L/dayと仮定した。

(1) Case1 Case 1では水中のヒ素濃度を $500 \mu\text{g/L}$ とした。これは著者らが同時に行った井戸水ヒ素調査によって得た、現地で実際に飲用されている井戸水中最高ヒ素濃度である。この条件をもとに計算して得られた、成人の1日ヒ素摂取量とその内訳を Fig.4 に示す。Case 1における1日ヒ素摂取量は成人で 1.21 mg/day となった。内訳をみると水からのヒ素摂取量が全体の82.7%を占めており、全体のヒ素摂取量に大きな影響を与えていることがわかる。

(2) **Case2** Case2 では水中のヒ素濃度を $50\mu\text{g/L}$ と設定した。これはバングラデシュでのヒ素の水質基準値である。この条件をもとに計算した結果得られた成人の1日ヒ素摂取量とその内訳を **Fig.5** に示す。このときの1日ヒ素摂取量は成人で 0.31mg/day となり、Case1 に比べて大きく減少した。内訳をみると、水の寄与率が Case1 の 82.7% から 32.3% に減少したことがわかる。一方で、全体のヒ素摂取量に対する食物からのヒ素摂取量の寄与率が増加しており、特にコメの寄与率が Case1 の 15.1% から 59.2% となった。

4. 4 ヒ素の形態についての考察

ヒ素には大きく分けて無機ヒ素と有機ヒ素があり、生体内の代謝活動などによりメチル化されるにしたがって毒性が弱くなるといわれている。したがって毒性を考える際は、より毒性の強い無機ヒ素の摂取量を知ることが重要である。今回は、全体のヒ素摂取量に対する寄与率が大きかった水とコメに着目する。水に含まれるヒ素については、そのほとんどが無機ヒ素であるといわれている。コメに含まれるヒ素については、約 50% が無機ヒ素であるという結果³⁾が多いことから、この考察ではコメ中の総ヒ素のうち、 50% が無機ヒ素であると仮定する。これらをもとに、Case2 におけるコメと水からの1日無機ヒ素摂取量をもとめると、成人の場合でそれぞれ 0.09mg/day 、 0.1mg/day となった。WHO⁴⁾ では、ヒ素濃度 0.01mg/L の水を 2L/day 飲み続けた場合の生涯発がんリスクを 6.0×10^{-4} としている。これを Case2 のコメと水からの1日無機ヒ素摂取量に当てはめて発がんリスクを求めると、成人の場合でそれぞれ 2.7×10^{-3} 、 3.0×10^{-3} となった。このことから、コメから無機ヒ素を摂取することが、水からヒ素を摂取する場合と同程度の発がんリスクを有している可能性がある。

5. まとめ

食物の中では葉野菜のヒ素濃度が最も高かった。食物からの1日ヒ素摂取量をもとめたところ、全体のヒ素摂取量に対する寄与率が最も大きかった食物群はコメであった。また、水中のヒ素濃度を2通り設定して水を含めた1日ヒ素摂取量を求めた結果、水中のヒ素濃度をバングラデシュの水質基準値まで減少させると1日ヒ素摂取量が大きく減少した。その一方で、コメからのヒ素摂取量が全体のヒ素摂取量に占める割合が大きく増加した。このとき無機ヒ素に関する考察を行うと、コメからヒ素を摂取することによる発がんリスクが、水からヒ素を摂取することによる発がんリスクと同程度である可能性があった。さらに、炊飯などの調理に使う水を考慮すると全体のヒ素摂取量はさらに多くなる可能性があり、これについては今後検討する必要がある。

6. 参考文献

- 1) 永井未央: 平成 14 年度 北海道大学 修士論文
- 2) Tarit Roychowdhury et al.: Survey of arsenic in food composites from an arsenic-affected area of West Bengal, India, Food and Chemical Toxicology, 40, 1611-1621, 2002
- 3) Isabel Pizarro et al.: Evaluation of stability of arsenic species in rice, Analytical and Bioanalytical Chemistry, 376, 102-109, 2003
- 4) WHO: Guidelines for drinking-water quality, second edition volume2, 156-167

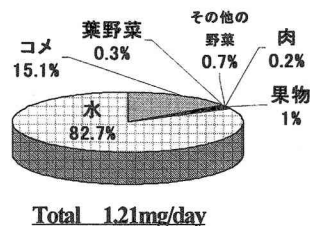


Fig.4 水を含めた1日ヒ素摂取量 Case1 ~成人~

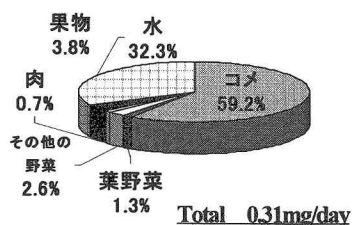


Fig.5 水を含めた1日ヒ素摂取量 Case2 ~成人~