

バングラデシュ地下水におけるシュベルトマナイトによるヒ素吸着能力の検討

宮崎大学 大学院工学研究科 博士前期課程 学生会員 大脇 一秀
 宮崎大学 工学部 土木環境工学科 正会員 横田 漢
 宮崎大学 機器分析センター 田辺 公子
 宮崎大学 大学院工学研究科 博士後期課程 学生会員 濱部 和宏

1.はじめに

バングラデシュでは飲料水の95%を地下水に依存しているが、その地下水は深刻なヒ素汚染を受けており、日本及びWHOの勧告基準値0.01ppmを満足するものはほとんどない。そこで我々は、シュベルトマナイトのヒ素吸着能力に注目し、現地の地下水を用いて、シュベルトマナイトのヒ素吸着能力を検討した。

2.シュベルトマナイトについて



シュベルトマナイトは天然では硫酸と鉄が存在する酸性の水中で微生物の作用により生成すると言われている。また低結晶性鉄鉱物であり、ゲータイト(FeOOH)の準安定相としても知られている。よって加熱や酸化によりゲータイトやヘタマイト(Fe_2O_3)といった鉄鉱物に相変化する。

シュベルトマナイトは組成中の硫酸とヒ酸(v)が置換することによりヒ素を吸着する。そのシュベルトマナイトが安定に存在でき、かつヒ素吸着の可能なpHは2~9程度と言われている。理論的にはシュベルトマナイトは最大で、90mg/gのヒ素吸着能力を持つといわれている。シュベルトマナイトには他のイオンも吸着するが、その順位として、 $\text{HAsO}_4^- > \text{HPO}_4^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ のすべて2価のアニオンと考えられている。

3.実験結果および考察

3.1 実験方法

地下水は非常に還元性であるため、地下水中のヒ素はほとんど3価で存在している。先に述べたように、シュベルトマナイトは5価であるヒ酸と吸着するので、実験ではまず地下水をバケツに汲み、それを大気曝露とエアレーションポンプを使つての曝露の2種類を試した。それを定期的に採取しヒ素濃度、pH、ORP、DO、Temp、および鉄濃度を測定した。その際試料水を50ml採取し、シュベルトマナイトを0.1gまたは0.2g入れ、1時間攪拌したあと、0.2 μm のメンブランフィルターでフィルトレーションしたあとの、ヒ素濃度、pHを測った。実験では、人工的に精製されたシュベルトマナイトを用いた。

3.2 大気曝露とシュベルトマナイト0.1gを添加したときについて

この時は、上記の測定項目に加えてリン酸も測定した。この時の結果をTable.1に示す。

この結果を見ると、シュベルトマナイト添加後もあまりヒ素濃度の低下は見られなかった。これは、エアレーション不足によりヒ素が3価から5価へ酸化しきれていなかったのではないかと考えられる。

Table.1 大気曝露とシュベルトマナイト0.1gを添加したとき

経過時間	試料水										シュベルトマナイト添加1時間後		
	As mg/l	Fe ^{III} mg/l	Fe ²⁺ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	pH	DO mg/l	ORP mV	EC mS/m	temp °C	As-S mg/l	PO ₄ ³⁻ -S mg/l	pH-S	
0	0.3	4	4	3	6.1	4.25	-73	57	25.5	0.1	0.5	7.2	
60	0.3	3	3	3	7.3	4.45	-73	53	23.5	0.15	0.5	7.3	
120	0.3	1.5	1.5	3	7.3	4.07	-66	53	23.1	0.2	0.5	7.3	
180	0.3	0.2 ↓	0.2 ↓	3	7.4	3.76	-16	53	23	0.25	0.5	7.3	
240	0.3	0.2 ↓	0.2 ↓	3	7.5	5.59	6	53	23.7	0.2	0.5	7.3	

3.3 大気曝露とシュベルトマナイト 0.2g を添加したときについて

次にシュベルトマナイトの量を2倍の0.2gにして実験を行った時の結果を Table.2 に示す。この時は、ヒ素濃度が少し高く 0.4mg/l から 0.2mg/l と約 50%減少しているが、WHO の勧告基準値には程遠い。大気曝露のみのエアレーションでは、やはりすぐにヒ素の酸化が進んでいないことがあげられる。

Table.2 大気曝露とシュベルトマナイト 0.2g を添加したとき

経過時間	試料水						シュベルトマナイト添加1時間後	
	As mg/l	pH	DO mg/l	ORP mV	EC mS/m	temp °C	As-S mg/l	pH-S
0	0.5	7.3	1.86	-102	0.571	23.8	0.2	7.1
60	0.4	7.3	1.86	-100	0.6	24.3	0.2	7.3
120	0.4	7.4	4.9	-72	0.597	23.5	0.2	7.3
180	0.4	7.5	4.89	-38	0.597	23.3	0.2	7.4
240	0.4	7.6	5.31	-26	0.597	22.7	0.2	7.4

3.4 ポンプ曝露とシュベルトマナイト 0.2g を添加したときについて

次にエアレーションポンプを使って曝露を行い。シュベルトマナイトも2倍の0.2g 添加した時の結果を Table.3 に示す。試料水の ORP の値に注目すると、開始60分後ですでに

Table.3 ポンプ曝露とシュベルトマナイト 0.2g を添加したとき

経過時間	試料水						シュベルトマナイト添加1時間後	
	As mg/l	pH	DO mg/l	ORP mV	EC mS/m	temp °C	As-S mg/l	pH-S
0	0.5	7.3	1.86	-102	0.571	23.8	0.2	7.1
60	0.4	8.5	1.86	124	0.575	23.7	0.3	7.7
120	0.4	8.7	4.9	41	0.567	23	0.2	7.8
180	0.3	8.7	4.89	115	0.56	22.9	0.2	7.7
240	0.4	8.7	5.31	98	0.557	22.4	0.2	7.8

十分酸化されており、ヒ素は5価に酸化していると考えられる。そこで試料水とシュベルトマナイト添加後の pH に注目してみると、pH が 1.0 程度低下している。これは、シュベルトマナイト中の硫酸イオンが他の物質と置換したためであると考えられる。この時ヒ素濃度は低下していないので、地下水中のリン酸イオンが、置換したのではないかと考えられる。

3.5 12 時間大気曝露したあとシュベルトマナイト 0.1g を添加したときについて

バケツに地下水を汲んでおき、約 12 時間大気曝露させた後、3.1 と同様の実験を行った。この時の結果を Table.4 に示す。ヒ素濃度を見てみると、すでに 12 時間後の試料水中でヒ素と鉄の吸着が起き、ヒ素濃度が 0.1mg/l まで低下していた。シュベルトマナイト吸着後は、0.01mg/l と WHO の勧告基準値をみたした。リン酸の値に注目してみると、試料水中よりもシュベルトマナイト添加後のほうが高くなっており、リン酸の代わりに、ヒ素がシュベルトマナイトに吸着されたと考えられる。

Table.4 12 時間大気曝露したあとシュベルトマナイト 0.1g を添加したとき

経過時間	試料水					シュベルトマナイト添加1時間後						
	As mg/l	Fe ^{III} mg/l	Fe ²⁺ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	pH	DO mg/l	ORP mV	EC mS/m	temp °C	As-S mg/l	PO ₄ ³⁻ -S mg/l	pH-S
0	0.4	2.0	2.0	1.5	7.4	1.33	-108	0.602	26.2			
720	0.1	0.2 ↓	0.2 ↓	0.5	7.5	1.53	156	0.597	22.4	0.05	1.5	7.5
780	0.1	0.2 ↓	0.2 ↓	0.5	7.6	1.32	114	0.597	22.0	0.01	1	7.4
840	0.1	0.2 ↓	0.2 ↓	0.5	7.6	1.81	122	0.596	22.2	0.01	1	7.3
900	0.1	0.2 ↓	0.2 ↓	0.5	7.5	1.95	124	0.596	22.6	0.01	1	7.3
960	0.1	0.2 ↓	0.2 ↓	0.5	7.8	2.32	128	0.596	23.2	0.01	1	7.5

4. 結論

以上の結果から、バングラデシュの地下水をシュベルトマナイトにより吸着除去するためには、地下水の十分な曝露と、シュベルトマナイトに吸着する他の物質除去が必要であると考えられる。つまり、水中のヒ素イオンとシュベルトマナイトが接触する機会を増やす方法を確立させれば、地下水を飲料用として安全に供給できるのではないかと考えられる。

参考文献

第7回・アジア地下水ヒ素汚染フォーラム要旨集