

# ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査とその対策

中村 圭三・大岡 健三\*・駒井 武\*\*

## 1. はじめに

ネパールのテライ低地では、1999年にヒ素汚染が明らかになり、その実態および健康被害に関する調査 (Ahmad, SA. et al., 2004, Maharjan M. et al., 2005, 2006, 2007 など) が進んでいる。著者ら (Nakamura et al., 2007) の2007年9月のテライ低地のナワルパラシ Nawalparasi 郡パラシ Parasi (図1) における調査においても、高濃度のヒ素が局所的に検出された。

著者らは、2008年3月に同地域の東西約6km、南北約10kmの地域において、地域内に散在する30集落で各1箇所井戸水の水質調査を実施した (中村ほか, 2008)。その結果、(1) ヒ素濃度は、最高値1800ppbと最低値1.4ppbとの間に約1300倍の開きがあり、その分布は非常に局所的である。(2) 2007年9月 (雨季) に高濃度のヒ素が観測された地点では、2008年3月 (乾季) にも

550ppb ~ 680ppb の高濃度値が検出され、この値は、前者の約3倍であった。(3) 深さ13mから23m前後までの層では特に強い還元状態にあり、還元状態が強まるほど高濃度のヒ素が検出される。などの事実が明らかになった。

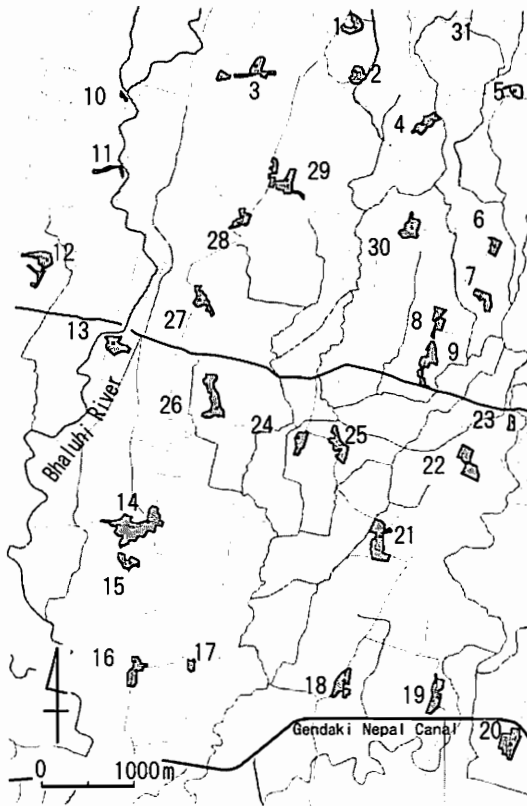
そこで今回は、2008年3月と同じ場所で、雨季における井戸水のヒ素汚染について調査した。また、ヒ素汚染対策として雨水を利用する取組みを、地元のNGOと協力して実施したので、これらについても併せて報告する。

## 2. 調査地域・方法

調査地域は前報 (中村ほか, 2008) と同様のテライ低地のナワルパラシ郡パラシの東西約6km、南北約10kmの地域で、地域内に散在する全ての集落に各1箇所調査地点を設置した (図2)。調査は、2009年9月5日から6日の2日間にわたり、水温・pH・EC・ORP・DOについて測定した。また、成分に関しては、サンプリングの後、イオンクロマトグラフ、およびICPM-8500で分析した。



図1 ネパールの地形と調査地域



1 : Patkhauli, 2 : Atharahati, 3 : Jawa, 4 : Khokharpurwa, 5 : Suryapura, 6 : Jamuniya, 7 : Jamuhanwan, 8 : Mahuwa, 9 : Pipara, 10 : Paratkar, 11 : Kachanhawa, 12 : Kunawar, 13 : Patkhauli, 14 : Dewagau, 15 : Phulbariya, 16 : Barari, 17 : Mahuwa, 18 : Hathi Banahawa, 19 : Gobarhiya, 20 : Majhauni, 21 : Sarawal, 22 : Janakpur, 23 : Hulasi, 24 : Shrinagar, 25 : Kothilaha, 26 : Goini, 27 : Manari, 28 : Aharauli, 29 : Tidal, 30 : Patani, 31 : Tilakpuri

図 2 調査地点

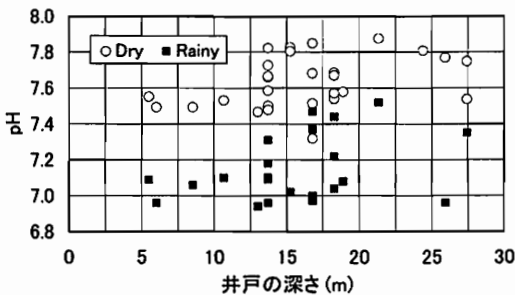


図 3 手押しポンプ井戸の深さと pH との関係

### 3. 調査結果

Pt.1 から Pt.31 までの各調査地点における井戸の深さ、水温、EC、pH、ORP、DO の調査結果を表 1 に示す。この表の Pt.14 から Pt.20 までの調査地点においては、道路事情が悪く調査不能であったため空欄になっている。

なお、Pt.31 は、今回新たに追加した調査地点である。

#### 3.1 pH&EC

調査地域内の pH と井戸の深さとの関係を、図 3 に示す。この図によると、2008 年 3 月の乾季における調査結果と同様に 2009 年 9 月の雨季においても深さ 13m を越える井戸で pH が急増して

表 1 調査地域における手押しポンプ井戸の深さ・水温・EC・pH・ORP・DO の調査結果

No.	Name of places	Well depth (m)	Water temp. (°C)	EC (µS/cm)	pH	ORP (mv)	DO(ppm)	DO (%)
1	Patkhauli	13.0	25.0	810	6.94	-85.0	2.6	33.1
2	Atharahati	13.7	26.8	1023	6.96	-117.2	3.4	43.1
3	Jawa	6.0	26.4	1702	6.96	-170.8	5.6	76.0
4	Khokharpurwa	21.3	28.7	772	7.52	-135.0	2.1	25.0
5	Suryapura	5.5	27.9	677	7.09	3.0	2.5	32.0
6	Jamuniya	16.8	25.7	702	7.00	-98.0	1.8	22.0
7	Jamuhanwan	8.5	26.5	672	7.06	-120.0	1.9	23.0
8	Mahuwa	15.2	28.2	1498	7.02	-84.3	3.9	50.0
9	Pipara	18.9	26.3	1505	7.08	-83.0	2.5	37.0
10	Paratkar	18.3	25.6	779	7.04	-113.0	2.8	34.1
11	Kachanhawa	25.9	25.6	1013	6.96	-112.0	2.3	28.0
12	Kunawar	10.7	25.3	693	7.10	-113.0	3.0	37.0
13	Patkhauli	16.8	25.9	755	7.37	-127.0	3.3	37.0
14	Dewagau	24.4						
15	Phulbariya	18.3						
16	Barari	27.4						
17	Mahuwa	15.2						
18	Hathi Banahawa	13.7						
19	Gobarhiya	13.7						
20	Majhauni	13.7						
21	Sarawal		26.2	563	7.09	-102.7	3.3	41.0
22	Janakpur	13.7	26.0	510	7.31	-116.2	2.9	36.0
23	Hulasi	13.7	27.3	804	7.18	-67.7	2.8	34.0
24	Shrinagar	16.8	28.0	617	7.47	-115.7	3.2	41.0
25	Kothilaha	13.7	26.9	778	7.10	-128.7	2.5	32.0
26	Goini	18.3		816	7.44	-115.4	2.5	31.0
27	Manari	18.3	26.2	396	7.22	-115.7	2.5	31.0
28	Atharahati	13.7	26.5	719	7.09	-107.8	2.9	37.0
29	Tidal	16.8	26.7	945	6.97	-100.1	2.9	37.0
30	Patani	27.4	27.5	760	7.35	-73.0	2.7	35.0
31	Tilakpur		28.7	787	7.35	-107.3	2.8	34.0
	Maximum	27.4	28.7	1702	7.52	3.0	5.6	76.0
	Minimum	5.5	25.0	396	6.94	-170.8	1.8	22.0
	Average	16.2	26.7	846	7.15	-104.5	2.9	36.1

## ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査とその対策

いる。深さ 13m から 19m までの pH はバラツキが大きく、最高値と最低値の差は乾季と同じ 0.6 であった。しかし、雨季における pH の値は、井戸の深さに関係なくほぼバラレルに 0.5 程度低下している。

EC の値も、pH 同様に深さ 13 m から 19m まででバラツキが大きい点は乾季と雨季で類似し、その値にはそれほど大きな変化は認められなかった。

### 3.2 ORP

2008 年 3 月（乾季）の ORP は、- 130mv から 142mv の値が観測され、その平均値は - 45.2 mv であった（図 4）。しかし 2009 年 9 月の雨季の調査では、正値は 3.0mv が 1 ヲ所あったのみで、その他は - 170.8mv から - 67mv の範囲にあり、平均値は - 104.4mv であった。すなわち雨季の方が乾季よりも強い還元状態にあったといえる。井戸の深さと ORP との関係では、乾季よりも雨季にばらつきが小さくなり、深さ 6 m 以浅を除く井戸の ORP は、- 135mv から - 67mv の範囲にあった。

### 3.3 DO

調査した 24 か所の井戸における 2009 年 9 月の DO の最高・最低値はそれぞれ 3.9 ppm (50.0%) および 1.8 ppm (22.0%) で、平均値は 2.7ppm (34.4%) であった（図 5）。平均値を超える値は、井戸の深さ 10 ~ 20m に集中している。

### 3.4 イオン濃度

各観測地点の、2009 年 9 月（雨季）のイオン濃度 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ ) を分

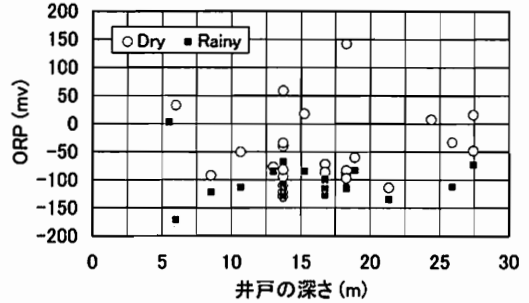


図 4 手押しポンプ井戸の深さと ORP との関係

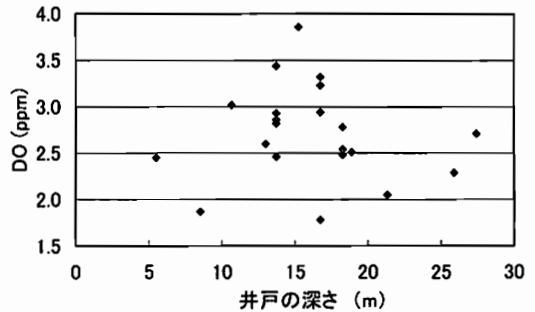


図 5 手押しポンプ井戸の深さと DO との関係

表 2 調査地域におけるイオン濃度の調査結果

No.	Name of places	Na	NH4	K	Mg	Ca	Cl	Hardness
1	Patkhauli	18.3	0.9	2.3	20.7	139.7	9.4	434.0
2	Atharahati	39.5	0.9	2.9	25.5	162.4	11.3	510.6
3	Jawa	103.9	1.5	141.0	37.8	147.4	140.4	523.4
4	Khokharpurwa	76.7	1.4	2.0	32.0	84.0	1.2	341.3
5	Suryapura	11.7	0.9	9.8	9.8	142.0	23.3	395.0
6	Jamuniya	12.7			19.6	140.0	9.5	430.3
7	Jamuhanwan	7.1	1.2	2.8	22.2	131.6	2.9	420.2
8	Mahuwa	68.1	1.3	226.7	25.4	117.4	85.0	397.9
9	Pipara	72.9	1.3	9.8	38.1	133.8	162.4	490.5
10	Paratkar	51.8	1.6		21.5	42.0		193.3
11	Kachanhawa	20.6	1.2		17.8	86.9	66.3	290.0
12	Kunawar	19.9			17.2	133.9	13.0	405.1
13	Patkhauli	44.8	2.1	2.0	32.2	102.0		387.1
14	Dewagau							
15	Phulbariya							
16	Barari							
17	Mahuwa							
18	Hathi Banahawa							
19	Gobarhiya							
20	Majhauni							
21	Sarawal	16.6			9.4	112.5	19.6	319.6
22	Janakpur	9.2	1.0		9.6	109.0		311.9
23	Hulasi	16.6	1.0	4.7	22.0	152.2	7.8	471.0
24	Shrinagar	42.4			16.8	93.4		302.3
25	Kothilaha	30.8	1.3		18.4	108.6	32.6	346.8
26	Goini	37.9	2.0	2.3	23.5	106.7	2.8	363.0
27	Manari	29.2	2.3	6.0	28.0	119.2	7.4	413.0
28	Aharauli	14.2	1.8		20.1	140.3	3.7	433.1
29	Tilauli	30.3	2.6		20.2	186.2	14.9	548.4
30	Patani	101.4	1.1		23.9	71.7		277.5
31	Tilakpur	71.8	1.7	2.0	27.4	75.3	2.5	300.7
	Maximum	103.9	2.6	226.7	38.1	186.2	162.4	548.4
	Minimum	7.1	0.9	2.0	9.4	42.0	1.2	193.3
	Average	39.5	1.5	31.9	22.5	118.3	32.4	387.7

Unit: ppm

析し(表2)、図6を作成した。Pt.3とPt.8の値が、他の地点と比べて各成分ともに突出して高い値を示し、特に $K^+$ の値が極めて高い点は、乾季と同様である。イオン濃度と井戸の深さとの間の関係を見ると、 $Na^+$ は、乾季と同様に井戸の深さとの間に正相関(乾季： $r = 0.53$ 、雨季： $r = 0.31$ )を示し、井戸の深さとともに濃度が増加していることがわかる。

$NH_4^+$ は、乾季には井戸の深さ13m以浅では0.5ppm以下で、それより以深で急増し特に13~19m付近でバラツキが大きかった(図7)。一方、雨季には13~19m付近ではばらつきが大きい点は乾季と同様であるが、全体的に濃度が高まりすべてが0.9ppm以上となった。

雨季の $Ca^{2+}$ は、ほとんどの井戸で、最も大きな濃度組成を示し、最高値186.2ppm、最低値

42.0ppmで、平均値は120.1ppmであった(図8)。雨季の $Ca^{2+}$ の濃度は乾季よりも総じて高く、その平均値はそれぞれ乾季70.5ppmおよび雨季120.1ppmで、ともに井戸の深さとは負相関(乾季： $r = 0.35$ 、雨季： $r = 0.57$ )を示した。

### 3.5 全硬度

全体的に、 $Ca^{2+}$ の濃度が高く、乾季には30地点中17地点で、雨季には24地点中18地点で、陽イオンの全濃度に対して $Ca^{2+}$ が50%以上を占めた。また、上述のように雨季の $Ca^{2+}$ の濃度は乾季よりも総じて高く、このことは全硬度にも関係した。30地点の平均値は、乾季には253.7ppmであったが、雨季には387.7ppmと、乾季の最高値399ppmに近い値であった。日本の水道水基準値300ppmを超えている地点が乾季には5地点あ

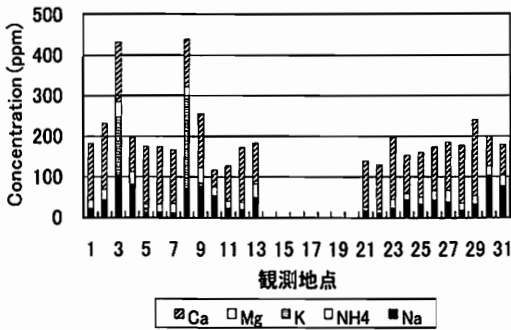


図6 各調査地点における雨季の陽イオン濃度

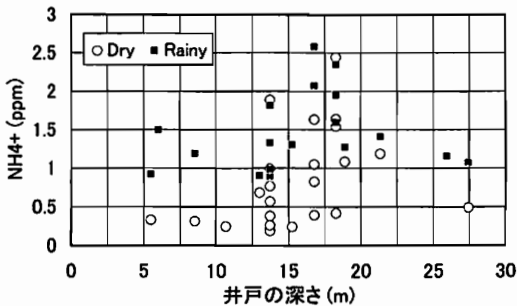


図7 手押しポンプ井戸の深さと $NH_4^+$ との関係

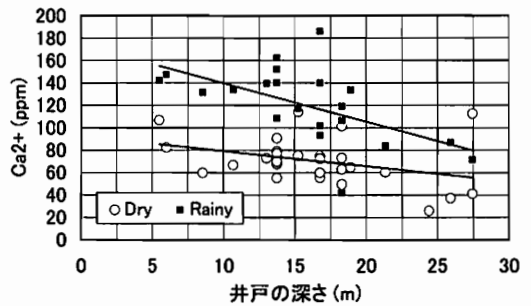


図8 手押しポンプ井戸の深さと $Ca^{2+}$ との関係

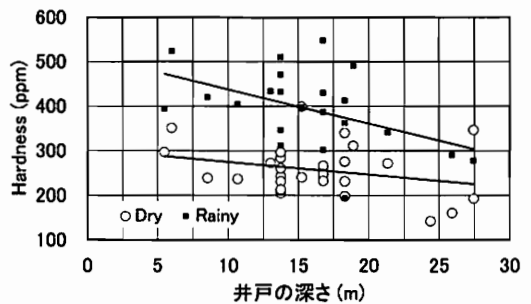


図9 手押しポンプ井戸の深さと全硬度との関係

## ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査とその対策

ったが、雨季には24地点中21地点(87.5%)であった。

全硬度と井戸の深さとの関係については、Ca<sup>2+</sup>とほぼ同様の関係を示し、井戸の深さと全硬度との間には、低いながらも負の相関が認められる(図9)。

### 3.6 ヒ素濃度

調査地域におけるヒ素の濃度は、乾季には最高値1800ppb、最低値1.2ppb、平均値168.4ppbであったが、雨季には最高値505.3ppb、最低値1.1ppb、平均値63.1ppbと大きく減少した(表3)。これらの値と井戸の深さとの関係を図10に示す。

ヒ素濃度の水平分布を知るために、図11を作成した。この図によると、突出した最高値505.3ppb(乾季:1800ppb)は、北東部のPt.4に出現している。次に高い値は、Pt.13(乾季:680ppb、雨季:157.4ppb)、Pt.24(乾季:590ppb、雨季:159.5ppb)、Pt.26(乾季:550ppb、雨季:172.3ppb)の隣り合う場所に現れている。雨季の値は、2007年9月に調査したPt.24(雨季:194ppb)、Pt.26(雨季:194ppb)に近いものであり、乾季にヒ素が高濃度になることが明らかになった。

一方、日本のヒ素の水質基準である10ppb以下の値も24地点中6地点存在し、その分布は非常に局所的である。

乾季には、深さ13mまで、および21mを超える井戸のヒ素濃度は、ネパールのヒ素濃度の基準値50ppbを下回っていたが、その中間の深さの井戸では、基準値をはるかに超える濃度(最高値:1800ppb)が観測された。しかし、雨季のヒ素濃度は相対的に低下し、基準値を超える値は

表3 調査地域におけるAs、Fe、Mn濃度の調査結果

No.	Name of places	As	Fe	Mn
1	Patkhauli	10.7	150.1	23.1
2	Atharahati	61.8	680.0	207.1
3	Jawa	1.2	46.0	1088.6
4	Khokharpurwa	505.3	406.1	26.6
5	Suryapura	1.2	46.0	12.5
6	Jamuniya	38.9	341.1	16.5
7	Jamuhanwan	10.2	236.0	138.2
8	Mahuwa	8.2	39.0	7.5
9	Pipara	10.9	43.8	164.1
10	Paratkar	27.7	402.9	7.4
11	Kachanhawa	3.8	4373.5	1164.2
12	Kunawar	2.8	259.5	890.5
13	Patkhauli	157.4	73.1	0.2
14	Dewagau			
15	Phulbariya			
16	Barari			
17	Mahuwa			
18	Hathi Banahawa			
19	Gobarhiya			
20	Majhauni			
21	Sarawal	11.1	527.1	106.0
22	Janakpur	15.6	89.0	131.8
23	Hulasi	39.0	320.0	86.2
24	Shrinagar	159.5	98.3	0.8
25	Kothilaha	29.9	1147.9	162.6
26	Goini	172.3	92.0	23.2
27	Manari	47.5	90.6	7.7
28	Aharauli	25.5	313.6	74.2
29	Tilauli	32.2	603.3	246.8
30	Patani	1.1	79.7	288.0
31	Tilakpur	141.3	95.8	4.2
	Maximum	505.3	4373.5	1164.2
	Minimum	1.1	39.0	0.2
	Average	63.1	439.8	203.2

Unit: ppm

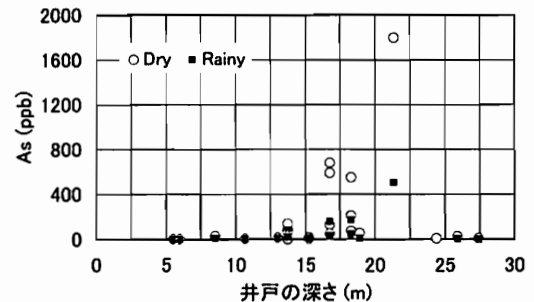


図10 手押しポンプ井戸の深さとヒ素濃度との関係

24地点中6地点のみで、乾季の最高値1800ppbは505.3ppbまで減少した。

## 4. 結果の考察

### 4.1 雨季と乾季の水質比較

テライ低地に流れ出てナワルパラシ郡の東の境

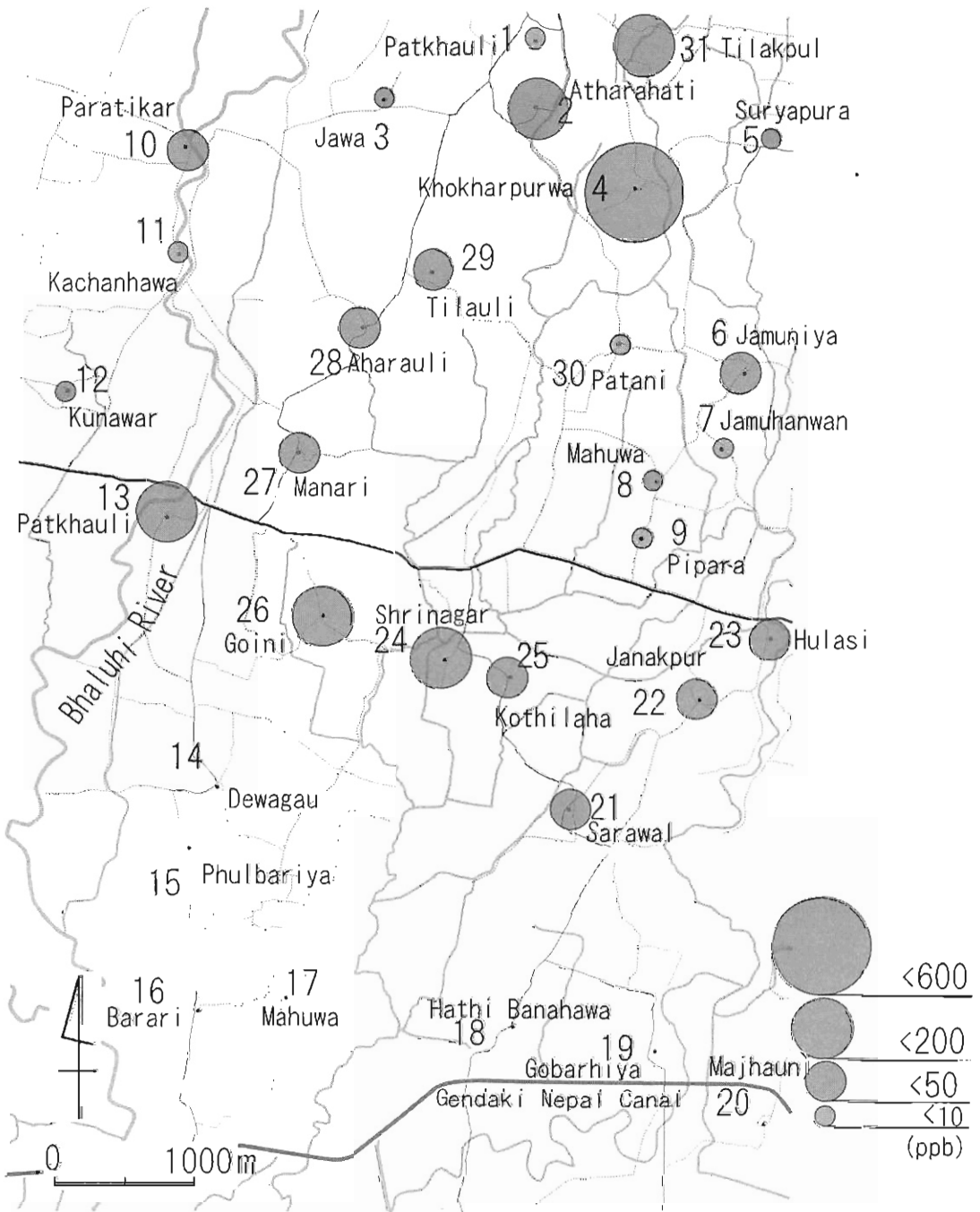


図 11 調査地域におけるヒ素濃度分布

## ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査とその対策

界となるナラヤン Narayani 河は、その流域に扇状地を形成する。この河川から西に 15km 程の距離にある当調査地域の地面は粘土質である。2008 年 3 月の調査時は、半年続いた乾季の末期に近い時期であった。そのため地層は完全に乾燥し、地下水中の溶存酸素が高まっていたものと推定される。

一方、2009 年 9 月の調査時は雨季の末期に近い時期であり、粘土質の道路はぬかるみ車の走行が困難なほどである。そのため、2009 年 9 月には、Pt.14 から Pt.20 の調査が不能であった。

雨季の雨水で十分に満たされていた地中では、有機物が酸素を消費し CO<sub>2</sub> の放出が増えて pH が低下したものと推察される。

また、井戸水の ORP は乾季の -130mv ~ +142 mv から雨季には -170.8 mv ~ +3mv へと、大きく減少した。このことから、雨季の地中・地下水においては、還元状態が強まっていたものと判断される。

イオン濃度については、雨季の Ca<sup>2+</sup> の値が乾季に比べて平均 1.7 倍増加したが、その他のイオンに関してはそれほど大きな変化は認められなかった。

一方、雨季のヒ素濃度は、平均して乾季の約 1/3 に減少した (図 12)。前報 (中村ほか, 2008) においては、井戸水の ORP とヒ素濃度との間に負の相関があることが確認された。今回の調査においてもヒ素濃度 10ppb 以上を対象に、ORP との関係性を求め、2008 年と比較した (図 13)。その結果下記の回帰式が得られ、2008 年 3 月と同様、ヒ素濃度と ORP との間の負の相関が得られた。

$$\text{As} = - 3.42 \text{ ORP} - 292.4$$

$$r = 0.494$$

前述のように今回の ORP が乾季よりも低下し還元状態が強まったにもかかわらずヒ素濃度が低下したのは、別な要因が大きく作用したためと考えられる。そのおもな要因としては、雨季の降水による希釈が考えられる。

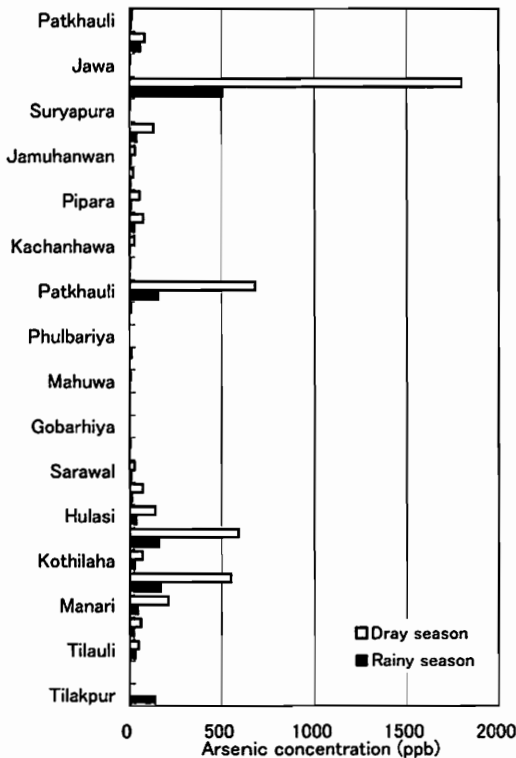


図 12 乾季と雨季のヒ素濃度比較

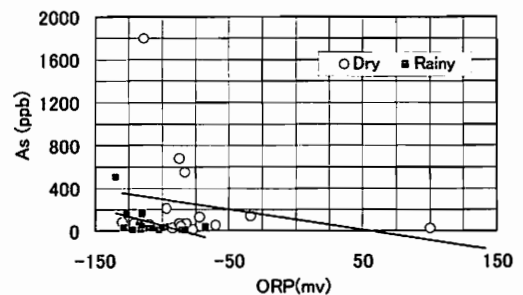


図 13 ORP とヒ素濃度との関係

## 4.2 ボーリング調査結果との比較

調査対象地域から西に約 2km の地点において、2003 年 6 月 19 日から 7 月 25 日の期間に深さ 80m までボーリング調査して得られた結果<sup>1)</sup>と比較し、当調査地域における地質とヒ素濃度との関係について検討した。

このボーリング調査においては、20m、40m、50m、60m、80m の 5 つの深さについて調査された。その結果によると、ヒ素濃度は 20m において 195ppb と最も高い濃度を示し、次いで高い値は 50m の 93ppb である (図 14)。しかし、その中間の 40m では 12ppb と低濃度になり、また、60m ではさらに低く 6ppb となっている。このことは当調査地域において、深さ 13m から 20 数 m までのヒ素濃度がきわめて高く、それを超えると低下している事実と類似した結果を示している。当調査地域の井戸の深さは 30m までであるので、最もヒ素濃度の高い層を中心に揚水されていることになる。なお、このボーリング調査によって明らかになった帯水層の地質は、表 4 に示すようにおもに砂利や砂からなり、最もヒ素濃度の高い 20m 層は砂を伴う砂利で形成されている。

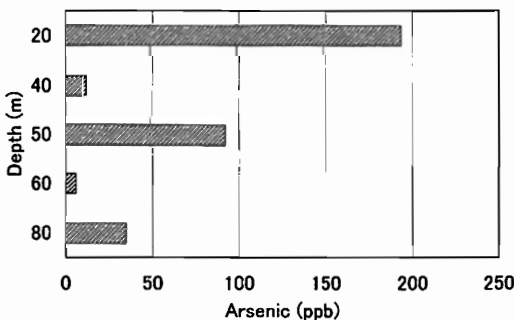


図 14 ボーリング調査によって明らかになった深さ別のヒ素濃度分布

表 4 ボーリングによる帯水層の厚さと地質

Depth (m)	Lithological description	
	Thick (m)	Formation
20	4.0	Gravel with sand
40	4.0	Coarse sand with gravel fine
50	2.6	Coarse sand with gravel
60	6.0	Gravel mixed with sand coarse to fine
80	3.4	Gravel mixed with sand coarse to fine

## 5. ヒ素汚染対策

### 5.1 ヒ素汚染と健康被害

ヒ素を含有する水を長期間飲用し続けると、ヒ素中毒となり皮膚に色素沈着・角化の症状が現れる。この症状がさらに進むとガン化の危険性が高まり、住民の健康に重大な影響をおよぼすことになる。

本調査地域で高いヒ素濃度を示す Pt.13 パトゥカウリ patkhauli (乾季: 680ppb、雨季: 157.4 ppb) および Pt.26 ゴイニ Goini (乾季: 550ppb、雨季: 172.3ppb) においては、健康被害に関する詳細な調査結果が報告されている。前者においては、95.8%の井戸がヒ素で汚染され、罹患率は 18.6%に達していた (Maharjan M. et al., 2006)。

一方後者においては、調査対象者 495 人に対し 56 人にヒ素中毒症状が認められ、罹患率 11.3%であった。また、罹患率を性別に見ると、女性の 5.9%に対して男性は 11.5%と約 2 倍高かった (Ahmad, SA. et al., 2004)。ゴイニにおける著者らの当調査地点における家族では、夫の手足に色素沈着・角化が現れていたが、妻には認められなかった。さらに年齢別に見ると男女共に 30 代、40 代での罹患率が高くなっていた。

テライ低地全体の罹患率は 6.9%で、これはバングラディッシュに相当し、男性の罹患率は女性の約 2 倍である (Maharjan M. et al., 2005)。ま



た、標準体重以下の人の罹患率は、標準体重の人の1.65倍であるとの報告がある (Maharjan M. et al., 2007)。

## 5.2 ヒ素除去フィルターの効果

ネパールでは、カンチャン ヒ素フィルター Kanchan Arsenic Filter (KAF) が開発され、一般的にヒ素の85～90%、鉄の90～95%、汚濁の80～95%、大腸菌の85～99%が除去されるといわれている (Ngai, TKK., et al., 2007)。さらに、バクテリアやウイルスを除去するヒ素バイオ サンド フィルター Arsenic biosand filter も開発されている (Pokhrel, D., et al., 2009)。

ところで、調査地域内では、イギリスや、フィンランドなどのNGOが簡易ヒ素除去フィルターを配布し、一部の住民が使用している。今回の調査では、Pt.26 ゴイニ および Pt.31 ティラクプル Tilakpur の調査地点で実際に使用されているフィルターから採水し、井戸水の原水と



写真1 簡易ヒ素除去フィルター

比較した。このフィルターは、SONO FIRTER と称され、上下2段のプラスチック製容器に鉄クギや、砂などが充填されたものである (写真1)。原水とろ過後の井戸水のヒ素濃度は、前者は原水 172.33ppb、ろ過後 40.76ppb、後者は原水 141.34ppb、ろ過後 17.56ppb で、ヒ素はそれぞれ 131.58ppb および 123.78ppb 除去されたことになる (図15)。

その結果これらの井戸水は、ネパールの水質基準 50ppb をクリアしている。しかし、乾季のゴイニにおけるヒ素濃度は550ppbであったので、ヒ素除去能力が同じだとすれば418ppb となり基準値をはるかに超えてしまう。また、フィルターの性能の劣化を考えると、決して安心して使用できるものではない。

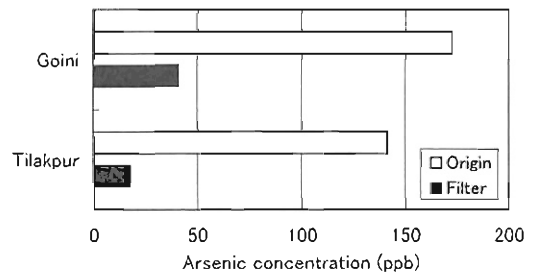


図15 簡易ヒ素除去フィルターの効果

## 5.3 ヒ素ゼロを目指す雨水利用

ヒ素除去フィルターが高濃度のヒ素を低濃度化するのに対し、雨水利用は元々ヒ素の含まれない水を利用する方法である。調査地域においては雨水利用は全くなされていないが、近郊には雨水利用が行われているところもある。写真2は、バラトプル Bharatopur の公立学校にイギリスのNGOによって設置された雨水利用施設である。

校舎の屋根で受水された雨水は、15分間程雨水利用装置を洗浄した後、その後の清浄な雨水が

地上の 5000L タンクに貯水される構造になっている。

ところで、この地域における雨水利用には、次の 2 つの問題点がある。

1. 乾季の半年間は降水がほとんど無い。
2. 貧困地域であるため、家が小さく、その上藁や瓦で葺かれた屋根の形状が上下・前後にゆがんでいて採水が困難である。

そこで、これらの問題点に対し、次のような解決策を提案したい。

第 1 の問題点に対しては、雨季の降水を乾季に備えて 1 人 1000L、5 人家族であれば 5000L 蓄え



写真 2 雨水利用装置を設置したバラトブルの公立学校

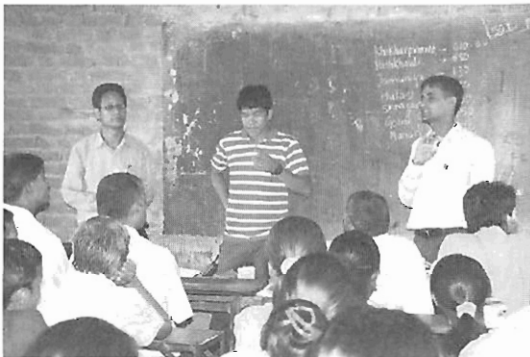


写真 3 コカルブルワの学校で開催されたヒ素汚染の現状と雨水利用に関する説明会

る。これは 1 人 1 日に必要とする飲み水を 5L とすると、乾季約 200 日間で 1000L 必要とする計算である。

第 2 の問題点に対しては、次の方法を提案したい。

- ① 屋根面積の大きな学校等の公共の建物を使用
- ② 共同利用形態による雨水利用

2009 年 9 月 6 日に、調査地域内の マナリ Manari および コカルブルワ Khokharpurwa の学校において、地元 の NGO と共同でこの地域内におけるヒ素汚染の現状およびその対策としての雨水利用に関する説明会を開催した

会場には学校の教職員・生徒、地域住民等が多数集まり、その内容についての活発な質疑も行われた。コカルブルワの学校では、ただちに雨水利用の設置に向けての検討が始まり、NGO との協議が続いている。なお、この学校のヒ素濃度は 212.61ppb であった。

調査地域の北側に国道が通り、国道から南に離れるに従い雨季の道路事情が悪化し、貧困の度合いを増している。そこで、最初の段階として北部に位置し比較的しっかりした造りの家屋が集中しているティラクプル Tilakpur をモデルケースとして選定した。共同利用による雨水利用を計画し、実用化に成功しているバングラディッシュの実例を参考にしながら、その実現に向けて現地 NGO と活動が続けている。

## 6. まとめ

2009 年 9 月 5 日から 6 日までの 2 日間にわたり、テライ低地のナワルバラシ郡バラシの東西約

## ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査とその対策

6km、南北約 10km の地域において、地域内に散在する 24 集落で、各 1 箇所の井戸の水質調査を実施した。その結果得られたおもな知見は、次の通りである。

- (1) 調査地域内の乾季の pH は 7.3 ~ 7.9 の範囲にあったが、雨季には 6.9 ~ 7.5 に、平均して 0.5 減少した。その原因としては、雨水で十分に満たされていた地中の有機物が酸素を消費し、CO<sub>2</sub> の放出が増えて pH が低下したものと考える。
- (2) 全硬度の平均値は乾季の 253.7ppm から雨季には 387.7ppm へと大きく増加し、最高値は 548.4ppm に達した。
- (3) 井戸水の ORP は、乾季の - 130mv ~ + 142 mv から雨季の - 170.8mv ~ + 3mv へと、大きく減少した。そのため、雨季には、地中・地下水中の還元状態が強まったものと考えられる。
- (4) ヒ素濃度の最高値は、乾季の 1800ppb から、雨季には 505.3ppb まで減少した。雨季のヒ素濃度は、全体として乾季のほぼ 1/3 に減少した。そのおもな原因としては、雨季の降水による希釈が考えられる。
- (5) 乾季と同様に雨季においても、ヒ素濃度と ORP との間に負の相関が認められた。
- (6) 調査地域の西約 2km における深さ 80m までのボーリング調査の結果においても、深さ 20m のヒ素濃度が 195ppb と最も高い値を示した。しかし 40m では、12ppb と極端に低くなり調査地域と類似の濃度分布が確認された。
- (7) 現在住民に配布されているヒ素除去フィルターには性能上の限界があり、ヒ素を全く含ま

ない雨水利用の実用化が期待される。

### 註

- 1) Nissaku Company (Nepal) , 2003, Report on Construction of Arsenic Monitoring Wells in Nawalparasi District.

### 参考文献

- 中村圭三・大岡健三・駒井武 (2008) : ネパールテライ低地におけるヒ素汚染調査. 環境情報研究, No.16, pp.13-23.
- Ahmad, SA., Maharjan, M., Watanabe, C., Ohtsuka, R., 2004, Arsenicosis in two Villages in Terai, Lowland Nepal., Environmental Sciences : an International Journal of Environmental physiology and Toxicology, Volume 113, pp.179-188.
- Maharjan M, Watanabe C., Ahmad, A., and Ohtsuka R., 2005, Arsenic contamination in drinking water and skin manifestations in lowland Nepal: The first community-based survey, The American Journal of Tropical medicine and Hygiene, Volume 73, pp.477-479.
- Maharjan M, Shrestha RR, Ahmad SA, Watanabe C, and Ohtsuka R., 2006, Prevalence of arsenicosis in Terai, Nepal, Journal of Health, Population and Nutrition, Volume 24, Issue 2, June 2006, pp. 246-252.
- Maharjan M., 2006, Arsenic contamination in groundwater resources in Kathmandu Valley. International Symposium on Southeast Asian

- Water Environment, Vol.4, pp. 277-282.
- Maharjan, M., Watanabe, C., Ahmad, S.A., Umezaki, M., Ohtsuka, R., 2007, Mutual interaction between nutritional status and chronic arsenic toxicity due to groundwater contamination in an area of Terai, lowland Nepal., *Journal of epidemiology and community health*, Volume 61, pp.389-394.
- Murcott, S., Gao, Y. X., Hwang, S. K., Low, C. S., Lukacs, H., Morganti, L., Ngai, T., Poole, B., and Sullivan, H., 2002, *Nepal Water Project 2001-2002, Group Report 2002*, 42p.
- Nakamura, K., Ooka, K., and Komai, T., 2007, The Drinking Water Quality in Four Physiographic Regions of Nepal and Arsenic Contaminated Groundwater in Terai, Lowland Nepal. *Journal of Environmental Studies*, No.15, 53-70.
- Ngai, T.K.K., Shrestha, R.R., Dangol, B., Maharjan, M., Murcott, S.E., 2007, Design for sustainable development--household drinking water filter for arsenic and pathogen treatment in Nepal., *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & environmental Engineering*, Volume 42, pp.1879-1888.
- Pokhrel, D., Bhandari, B.S., and Viraraghavan, T., 2009, Arsenic Contamination of Groundwater in the Terai region of Nepal: An overview of Health Concerns and Treatment Options. *Environment International*, Volume 35 . pp.157-161.
- 大岡健三 (産業環境管理協会・環境情報研究所客員研究員)
  - \*\* 駒井武 (産業技術総合研究所)

## ABSTRACT

### Arsenic Contaminated Groundwater in Terai, Lowland Nepal and its Measures

Keizo NAKAMURA\*, Kenzo OOKA\*\*, and Takeshi KOMAI\*\*\*

Throughout 2 days on September 5 ~ 6, 2009, it was investigated in Nawalparasi county Parasi of the Terai lowland. Breadth of the investigation area is east and west about 6km, north and south about 10km. Water quality survey of well water were taken 24 colonies which were scattered in the area, and it was carried out at each 1 place.

Main knowledge in this investigation is as follows as the result.

- (1) In comparison with the dry season and rainy season, pH in the investigation decreased 0.5 on average.
- (2) The mean value of total hardness greatly increased to 387.7ppm in rainy season from 253.7ppm in the dry season, and the highest value reached 548.4ppm.
- (3) ORP of well water was greatly decreased in the rainy season than the dry season. Therefore, it seemed to intensify reduced state of underground and in the groundwater in the rainy season.
- (4) The highest value of arsenic concentration decreased to 505.3ppb in rainy season from 1800ppb in the dry season. As a whole, the arsenic concentration of the rainy season decreased to approximately 1/3 of the dry season. The arsenic concentration in rainy season decreased almost as a whole in 1/3 in the dry season. As the main cause, the dilution by the precipitation in the rainy season is considered.
- (5) The negative correlation between arsenic concentration and ORP was obtained as well as the dry season in rainy season.
- (6) In the result of boring exploration to 80m depth of the investigation area at west about 2km, the arsenic concentration of the 20m depth showed 195ppb and the highest value.
- (7) In arsenic suppression filter which the inhabitant distributes at present, there is a limit on the performance, and the practical application of rain water utilization which completely does not contain the arsenic is expected.

\* Institute of Environmental Studies Keiai University, Sakura 285-8567, Japan

\*\* Japan Environmental Management Association for Industry, Tokyo 101-0044, Japan

\*\*\* National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba 305-8569, Japan