

ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査

中村 圭三・大岡 健三*・駒井 武**

1. はじめに

ネパールの地形は、南部の標高 150m 以下のテライ、150～300m のシワリク、300～2500m のヒル/ミドルマウンテン、2500m 以上のハイマウンテン等の高度帯に大別され、地質構造にも大きな特徴が見られる (図 1)。このような地形・地質と水質との関係につき、著者ら (Nakamura et al., 2007) は、2007 年 8 月から 9 月に、標高 3000m 以下のこれらの地帯を代表する 4 つの地域、テライ (Parasi 110m, Lumbini 100m)、シワリク (Bharatpur 190m)、ヒル/ミドルマウンテン (Kathmandu 1300m, Pokhara 820m, Manakamana 1300m)、ハイマウンテン (Lukla 2840m, Jomsom 2720m) において、飲料水の水質調査を実施した。その結果、(1) Parasi、Lumbini では高濃度の Mg^{2+} 、 Ca^{2+} を検出、全硬度は日本の水道水基準値 (300mg/l) に近い値を

示す。(2) Kathmandu では、河川の人為的汚濁が原因であると考えられる NH_4^+ を高濃度で検出。(3) Jomsom は、Pokhara の上流に位置し、水源が共通しているため、ともに Ca^{2+} が 80% 近くを占める。(4) ハイマウンテンの同高度に位置する Lukla (pH6 台後半)、と Jomsom (pH8) では、地層の違いが pH に大きく反映される。などが明らかになった。

ガンジス川下流域のバングラディッシュでは、地下水のヒ素汚染が深刻な事態となっているが、その上流に位置するネパールのテライ低地でも 1999 年にヒ素汚染が明らかになり、その実態調査が進んでいる ((Maharjan et al., 2005, 2006 など)。著者ら (Nakamura et al., 2007) のテライ低地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。その原因としては、地下の帯水層の深さ・地質 (粘土・砂・礫) 構造などが複雑に入り組んでいるためと推測される。その分析には、帯水層の地質状況の調査が重要である (Tamrakar et al., 2002, 2007)。特に造山運動による褶曲や衝上断層による間接的な影響や地下に存在する蛇行跡などが帯水層のメカニズムを複雑化している。さらに、ヒ素の地下水への溶出と帯水層中の移動に関して、ヒ素の広域汚染源、ヒ素含有岩石・碎屑物、海成堆積物、河川と風化の影響、地下水中の化学物質 (特に鉄化合物や硫化物など)、pH、酸化還元電位なども大きく関与するものと考えら

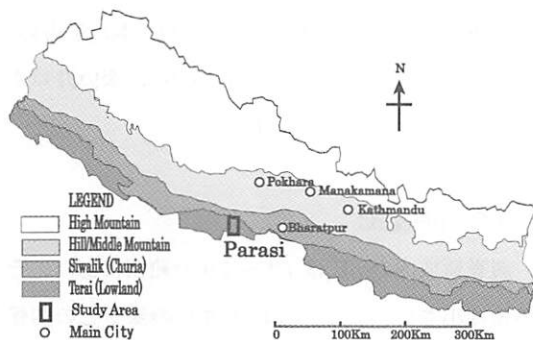


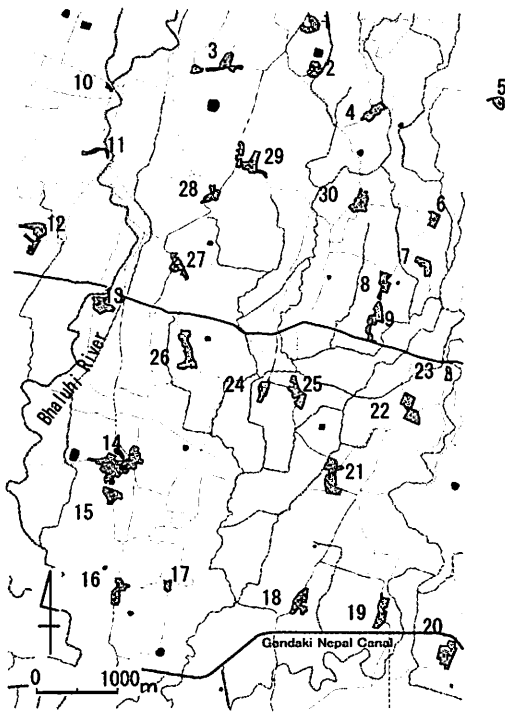
図 1 ネパールの地形と調査地域

細な調査を実施したので報告する。

2. 調査地域・方法

調査地域は、前報 (Nakamura et al., 2007) と同様、テライ低地のナワルパラシ Nawalparasi 郡パラシ Parasi の東西約 6km、南北約 10km の地域 (図 2) である。

調査地点数は、前回の 10 地点から 30 地点へと 3 倍に増加させ、地域内に散在する全ての集落で 1 箇所ずつ井戸水の水質調査を実施した。調査は、2008 年 3 月 1 日から 2 日の 2 日間にわたり、水温・pH・EC・ORP などについて測定した。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。



- 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 : Meijhauni, 21 : Sarawal, 22 : Janakpur, 23 : Hula' s, 24 : Shrinagar, 25 : Kothilaha, 26 : Goini, 27 : Manari, 28 : Aharauli, 29 : Tilauli, 30 : Pateni

図 2 調査地点

3. 調査結果

3.1 井戸の深さ

調査対象とした 30 本の井戸は、全て手押しポンプ井戸 (以後井戸と称する) である。この井戸の深さについては、水質調査時に聞き取りをし、29 本の井戸の深さを確認した。確認できた井戸の深さは、5.5m から 27.5m までで、22m の幅がある。そのうち深さ 13.5m から 18m までのわずか 4.5m の範囲内の井戸が、全体の 62.1% (18 本) を占め、それよりも浅い井戸が 17.2% (5 本)、深い井戸が 20.7% (6 本) 存在する (図 3)。

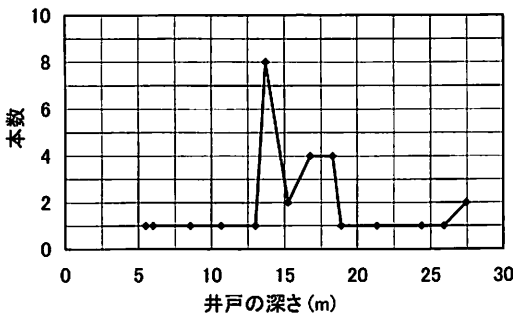


図 3 井戸の深さと本数

れる (Mirecki, 2005)。

そこで今回は、テライ低地の井戸水に関する詳

3.2 pH&EC

調査地域内の pH は 7.3 ~ 7.9 の範囲にあり、その差は小さい (表 1)。pH と井戸の深さとの関係について、図 4 に示す。この図によると、井戸の

ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査

深さ 13m 付近までは、pH7.6 以下であるが、深さ 13m を越える井戸では、pH7.6 以上の値が急増している。深さ 13 m から 19m までは、バラツキが大きく、pH7.6 以下の値も散在するが、深さ 20 m 以上では、pH7.6 以下の値は少なくなる。

3.3 ORP

ORP については、- 130mv から 142mv の値が観測され、その平均値は - 45.2mv である (表 1)。井戸の深さと ORP との関係を知るために図 5 を作成した。この図において、ORP - 50mv 以下の値に着目すると、井戸の深さ 13 m から 22 m までの領域に集中していることが分かる。また、さらに深い井戸においては、ORP - 50mv 以下の値は、存在しない。

3.4 イオン濃度

各観測地点のイオン濃度 (Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^-) を分析 (表 2) し、図 6 を作成した。この図によると、Pt.3 と Pt.8 の値は、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が、他の地点と異なる。イオン濃度と井戸の深さとの間関係を見ると、 Na^+ は、井戸の深さとの間に正相関 ($r = 0.53$) を示し、井戸の深さとともに濃度が増加している (図 7)。このことから、深さが増すほど、海底堆積物の影響が大きいものと推定される。

一方、 Ca^{2+} は、井戸の深さとの間に負相関 ($r = 0.36$) を示し、深さとともに濃度が低下する傾向を示す (図 8)。その他のイオンに関しては、井戸の深さとの間に顕著な相関は認められなかった。

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 調査結果

Pt	Name of places	Well depth (m)	Water temp. (°C)	EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}$)	pH	ORP (mv)
1	Patkhauli	13.0	22.9	869	7.47	-77.0
2	Atharahati	13.7	22.5	791	7.49	-130.0
3	Jawa	6.0	23	1673	7.49	33.0
4	Khokharpurwa	21.3	23.4	828	7.88	-114.0
5	Suryapura	5.5	19.4	612	7.55	
6	Jamuniya	16.8	23.1	735	7.51	-72.0
7	Jamuhawan	8.5	23.4	672	7.49	-92.0
8	Mahuwa	15.2	21.9	1784	7.83	18.0
9	Pipara	18.9	23.4	1505	7.58	-60.0
10	Paratiker	18.3	22.2	784	7.54	-87.0
11	Kachanhawa	25.9	23.3	817	7.77	-33.0
12	Kunawar	10.7	24.7	700	7.53	-50.0
13	Patkhauli	16.8	23.4	795	7.68	-87.0
14	Dewagau	24.4	24.5	1043	7.81	7.8
15	Phulbariya	18.3	23.1	1191	7.57	142.0
16	Barari	27.4	23.2	892	7.54	-48.0
17	Mahuwa	15.2	23.7	550	7.80	
18	Hathi Banahawa	13.7	24.2	525	7.73	-40.0
19	Gobarhiya	13.7	23.5	451	7.82	59.0
20	Majhauri	13.7	25.2	472	7.66	-94.0
21	Sarawal		25	615	7.63	100.0
22	Janakpur	13.7	25.1	521	7.87	-82.0
23	Hulasi	13.7	23.6	806	7.59	-34
24	Shrinagar	16.8	24.9	684	7.85	
25	Kothilaha	13.7	24.7	769	7.50	-121.0
26	Goini	18.3	23.1	789	7.69	-83.0
27	Manari	18.3	24.6	781	7.67	-97.0
28	Aharauli	13.7	24.8	760	7.48	-110.0
29	Tileuf	16.8	24.8	993	7.32	-86.0
30	Patari	27.4	24.6	835	7.75	16.0
	Maximum	27.4	25.2	1784	7.88	142.0
	Minimum	5.5	19.4	451	7.32	-130.0
	Average	16.2	23.6	841	7.63	-45.2

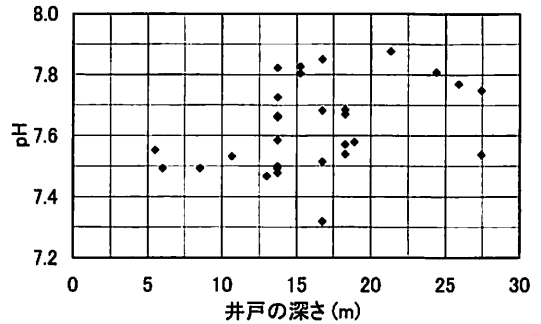


図 4 井戸の深さと pH との関係

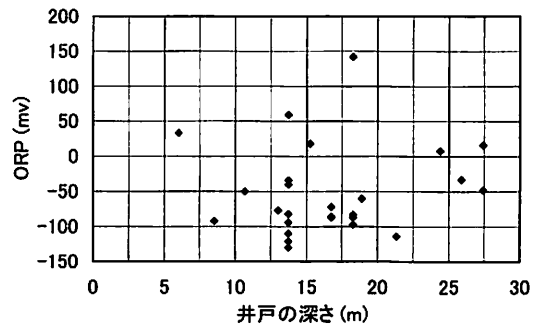


図 5 井戸の深さと ORP との関係

表 2 調査地域におけるイオン濃度の調査結果

Pt.	Name of places	Na	NH ₄	K	Mg	Ca	Cl	Hardness
1	Patkhauli	18.76	0.68	2.50	21.97	73.03	11.79	272.67
2	Atharahati	30.84	0.38	0.99	23.94	74.24	3.66	283.75
3	Jawa	95.28		139.31	35.43	82.40	129.64	351.23
4	Khokharpurwa	74.96	1.19	1.42	29.40	60.39	1.92	271.52
5	Suryapura	5.88	0.33	9.09	7.25	106.82	12.31	296.80
6	Jamuniya	13.06	0.83	0.79	18.79	74.52	6.17	263.31
7	Jamuhanwan	7.24	0.32	2.92	21.77	59.84	3.56	238.83
8	Mahuwa	70.99		230.31	27.70	114.24	114.00	399.16
9	Pipara	67.83	1.09	8.40	36.43	64.68	144.20	311.07
10	Paratkar	48.11	1.54	1.12	17.94	63.03	1.50	231.11
11	Kachanhawa	118.92		0.78	16.37	37.18	1.86	160.03
12	Kunawar	20.13	0.25	0.79	16.95	66.84	11.44	236.58
13	Patkhauli	45.64	1.63	1.92	31.13	55.52	1.71	266.41
14	Dewagau	168.84		1.29	18.75	26.01	3.02	141.88
15	Phulbariya	41.00	0.42	11.71	18.01	49.64	84.52	197.92
16	Barari	17.01	0.49	6.01	15.82	112.66	39.37	346.52
17	Mahuwa	10.64	0.24	2.94	12.62	75.35	9.71	240.11
18	Hathi Banahawa	12.64	0.38	1.60	11.07	79.04	4.05	242.99
19	Gobarhiya	4.92	0.19	1.33	9.25	77.21	4.57	230.96
20	Majhauni	11.01	0.26	1.58	8.69	67.67	5.53	204.82
21	Sarawal	14.40	0.25	1.21	8.99	61.78	8.11	191.30
22	Janakpur	9.01	0.77	0.99	8.80	69.57	1.20	209.99
23	Hulasi	14.87	0.57	3.80	20.82	70.01	2.38	260.39
24	Shrinagar	43.96	1.05	1.30	16.17	72.48	1.74	247.51
25	Kothilaha	29.12	1.00	0.75	16.92	90.81	25.46	296.40
26	Goini	38.55	1.64	1.80	22.57	73.20	3.08	275.53
27	Manari	33.42	2.44	1.28	20.98	101.54	2.81	339.86
28	Aharauli	13.33	1.89	0.76	18.17	55.35	3.57	212.87
29	Tilauli	29.00	0.39	2.96	20.05	60.01	8.19	232.24
30	Patani	100.44		0.88	21.86	41.17	1.86	192.53
	Maximum	168.84	2.44	230.31	36.43	114.24	144.20	399.16
	Minimum	4.92	0.19	0.75	7.25	26.01	1.20	141.88
	Average	40.33	0.81	14.75	19.15	70.54	21.76	254.88

Unit: ppm

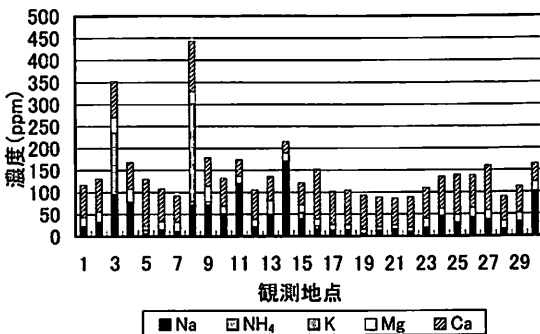


図 6 各調査地点における陽イオン濃度

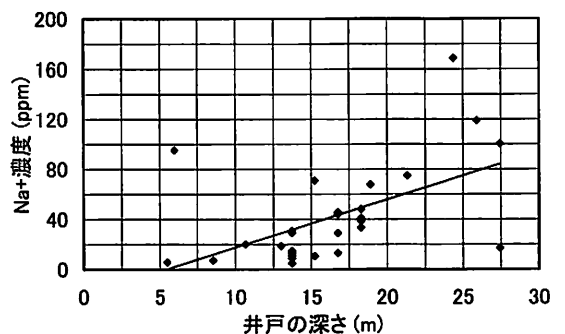


図 7 井戸の深さと Na⁺ との関係

ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査

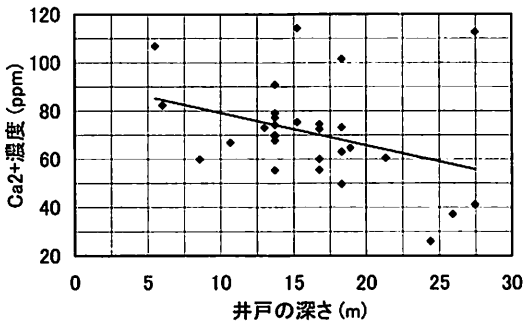


図8 井戸の深さとCa²⁺との関係

3.5 全硬度

全体的に、Ca²⁺の濃度が高く、30地点中17地点で、陽イオンの全濃度に対してCa²⁺が50%以上を占めることから、全硬度を求めた。30地点の平均値は253.7ppmと高い。日本の水道水基準値300ppmを超えている地点が5地点あり、最高値は399ppmであった。全硬度と井戸の深さとの関係を図9に示す。この図によると、深さ13mまでの井戸の全硬度は全て230ppm以上であるが、深さ13mを超えると230ppm以下の値が増加する。さらに深さ24mを超えると全硬度230ppm以下の割合が高まり、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。

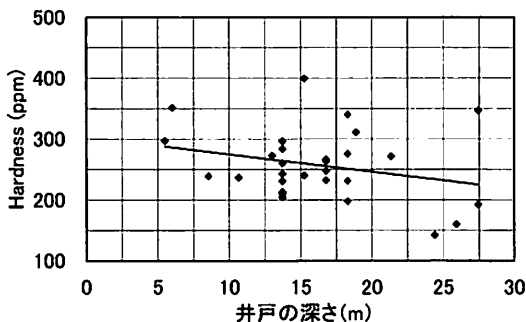


図9 井戸の深さと全硬度との関係

3.6 ヒ素濃度

調査地域におけるヒ素の濃度は、最高1800ppb、最低1.4ppb、平均175ppbである(表3)。これらの値と井戸の深さとの関係を図10に示す。

ネパールのヒ素濃度の基準値は50ppbであるが、深さ13mまでの井戸のヒ素濃度は1.9ppbから29ppbの範囲にあった。深さ13mを超えると急激に高濃度のヒ素が出現し、深さ21m付近では1800ppbにも達した。しかし、さらに深い井戸では再び濃度が下がり、8.4ppbから27ppbの範囲で推移した。このことから、高濃度のヒ素は、深さ約13mから23m前後までの層に存在することが明らかになった。

次に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

表3 調査地域におけるAs、Co、Fe、Mn、B濃度の調査結果

Pt.	Name of places	As	Co	Fe	Mn	B
1	Patkhauri	14	0.048	260	5	38
2	Atharahati	82	0.072	57	330	30
3	Jawa	3	0.580	20	1500	140
4	Khokharpurwa	1800	0.064	55	43	220
5	Suryapura	2	0.160	24	15	34
6	Jamuniya	130	0.140	23	140	45
7	Jamuhanwan	29	0.170	51	160	35
8	Mahuwa	19	0.064	19	2	170
9	Pipara	55	0.330	55	17	71
10	Paratiker	73		15	92	55
11	Kachanhawa	27		44	93	190
12	Kunawar	5	0.120	100	210	29
13	Patkhauri	680		20	20	120
14	Dewagau	8		22	69	160
15	Phulbariya			14	30	64
16	Barari	10	0.044	690	180	33
17	Mahuwa	5		35	56	35
18	Hathi Banahawa	1	0.024	100	640	23
19	Gobarhiya		0.059	39	24	120
20	Majhauni	3		88	2	25
21	Sarawal	27	0.100	600	660	25
22	Janakpur	71	0.052	72	190	25
23	Hulasi	140		480	48	40
24	Shrinagar	590		120	10	68
25	Kothilaha	70		830	18	37
26	Goini	550	0.036	21	4	71
27	Manari	210	0.092	82	70	72
28	Aharauli	61	0.084	330	36	30
29	Tilauli	48	0.060	86	38	23
30	Patani			11	4	170
	Maximum	1800	0.580	830	1500	220
	Minimum	1	0.024	11	2	23
	Average	175	0.121	145	157	73

Unit: ppb

1800ppb は、北東部の Pt.4 (Khokharpurwa) に出現している。次に高い値は、Pt.13 (Patkhauli, 680ppb)、Pt.24 (Shrinagar, 590ppb)、Pt.26 (Goini, 550ppb) の隣り合う場所に現れている。この地域は、前報で、高濃度値が指摘された場所と一致する。ただし、前報は雨季の調査であり、Pt.24、Pt.26 の濃度はそれぞれ 194.1ppb、193.9ppb で、乾季である今回の調査結果と比べて約 1/3 の値であった。

一方、ネパールの飲料水に関するヒ素の水質基準は 50ppb であるが、日本の水質基準である 10ppb 以下の値は、南部の広範囲の地域に分布するほか、北部にも散在する。

このように、東西約 6km、南北約 10km の調査地域内におけるヒ素濃度は、最高値と最低値で約 1300 倍の開きがあり、その分布は非常に局所的である。

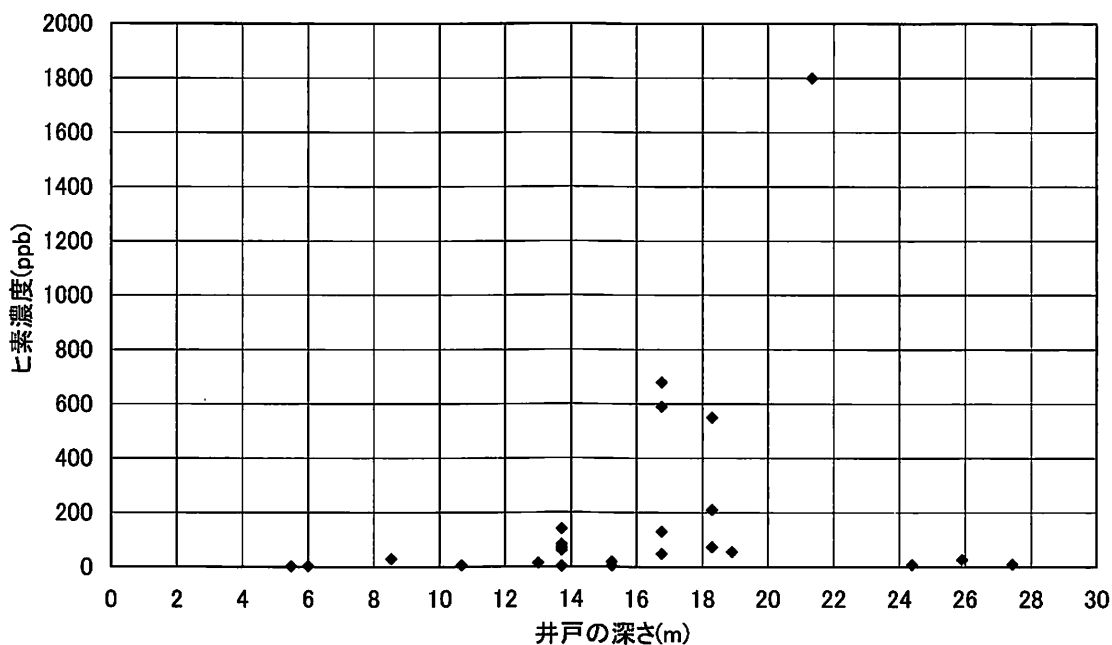


図 10 井戸の深さとヒ素濃度との関係

ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査

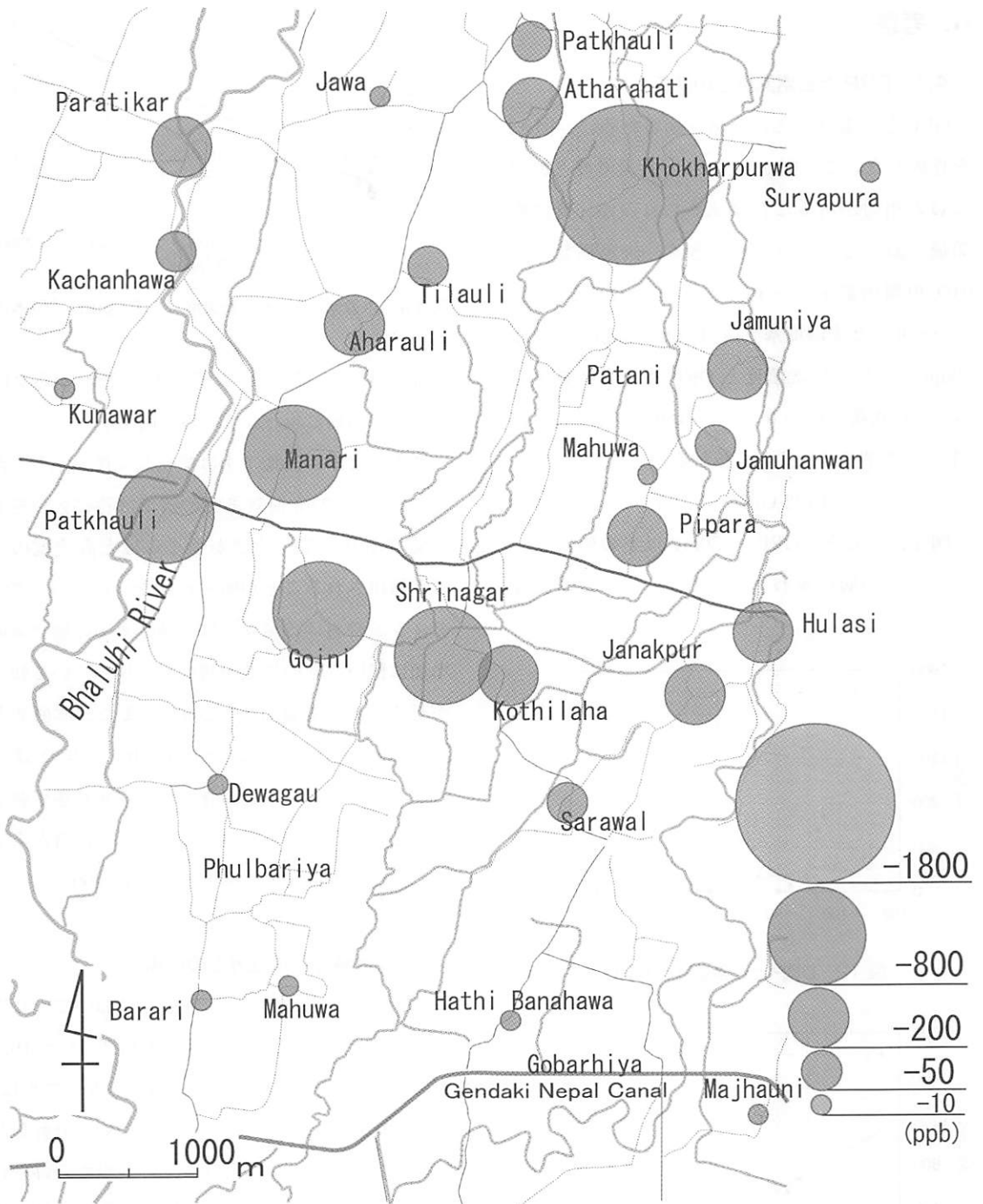


図 11 調査地域におけるヒ素濃度分布
単位：ppb

4. 考察

4.1 ORP とヒ素濃度との関係

ORP とヒ素濃度との関係を知るために、図 12 を作成した。この図から ORP とヒ素濃度との間に負の相関があることは認められるが、低濃度領域におけるバラツキが大きく、決定係数 $R^2 = 0.09$, 相関係数 $r = -0.30$ にとどまる。そこで、ネパールのヒ素濃度基準値 50ppb の 2 倍に当たる 100ppb 以上のヒ素濃度と ORP との関係を求めると高い相関 ($R^2 = 0.48, r = 0.69$) が得られ (図 13)、その関係は次式で示される。

$$As = -16.22 ORP - 731.5$$

図 5 によると、ORP - 50mv 以下の値は 13m から 22m の層に現われている。一方、ヒ素濃度

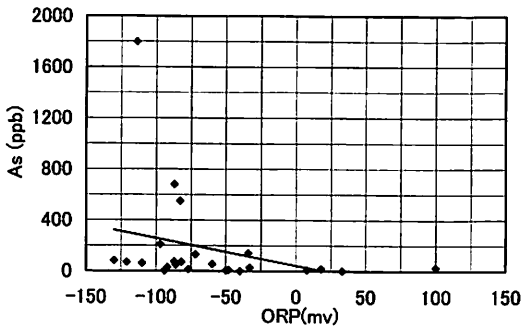


図 12 ORP とヒ素濃度との関係

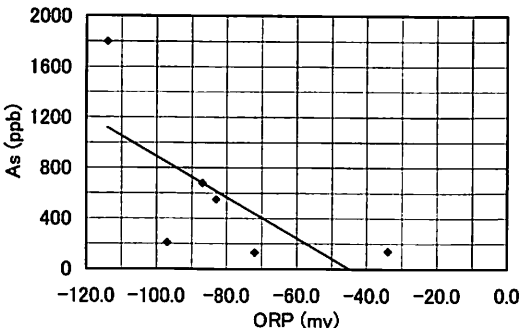


図 13 ORP とヒ素濃度 (> 100ppb) との関係

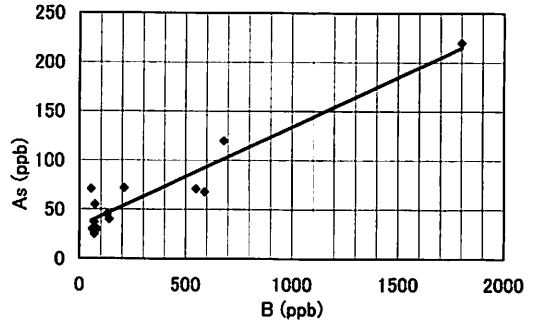


図 14 ホウ素 (B) とヒ素濃度 (> 50ppb) との関係

100ppb 以上の濃度は、ほぼ同様に 13m から 23m 前後までの層に現われている (図 10)。

このことから、地下水は酸化還元性を示し、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ことが明らかになった。パングラディシュにおける調査では、地下水中の総ヒ素の増加に伴い 3 価のヒ素の割合も増加している傾向が見られた (安藤ほか, 2002)。また、本研究と同じ Nawalparasi および Rupandhi 地方の 37 本のポンプ井戸における調査では、還元状態が強まるに従い総ヒ素に対する 3 価のヒ素の割合が高まることが認められた (Marcott et al., 2002)。

4.2 ヒ素と各種成分との関係

前報 (Nakamura et al., 2007) において、ヒ素とホウ素との間に非常に高い正相関 ($r = 0.97$) があることが明らかになった。前報のサンプルは、8 地点から得られた 14 サンプルについて分析した結果であったが、本研究では、30 地点から得られた 30 サンプルについて分析した。その結果、相関係数は $r = 0.525$ まで低下した。これには、ヒ素の低濃度領域におけるバラツキが多分に影響している。そこで、ヒ素濃度 50ppb 以上の 13 サン

ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査

ブルを抽出してホウ素との関係を求めると、相関係数は $r = 0.95$ まで高まった (図 14)。

このように、2007年9月1日の観測結果からも、2008年3月1日と2日の観測結果からも、ヒ素とホウ素との間の非常に高い正相関が確認された。その因果関係については、今後の研究に待ちたい。

そのほかに、Fe、Mn、Coについてもヒ素濃度との関係を求めたが、相関はほとんど認められなかった。

5. まとめ

2008年3月1日から2日の2日間にわたり、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の地域において、地域内に散在する30集落で各1箇所の井戸の水質調査を実施した。その結果得られた知見は、次の通りである。

- (1) 調査地域内のpHは7.3～7.9の範囲にあり、場所による差は少ない。
- (2) 全硬度の平均値は253.7ppmと高く、日本の水道水基準値300ppmを超える地点が30地点中5地点あり、最高値は399ppmに達した。
- (3) 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。
- (4) 前報(雨季)で高濃度のヒ素が観測された地点では、今回(乾季)も550ppb～680ppbの高濃度値が検出され、この値は、前報の約3倍に当たる。
- (5) ヒ素濃度100ppb以上においては、ORPとの間に、決定係数 $R^2 = 0.48$ 、相関係数 $r = -0.69$ の高い負相関が得られた。
- (6) 深さ13mから22m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ことが明らかになった。

- (7) ヒ素濃度50ppb以上の13サンプルについては、ホウ素との間に非常に高い相関 ($r = 0.97$) が得られた。

参考文献

- 安藤正典・内海英雄・柴田康行・眞柄泰基・山本和夫・石橋良信・兜 真徳 (2002)：地下水利用に伴う広域的ヒ素汚染に対する地球環境保全のための環境計画に関する研究。(社)国際環境研究協会地球環境研究総合推進費研究成果報告書。
- Maharjan M, Shrestha RR, Ahmad SA, Watanabe C, and Ohtsuka R., 2006, Prevalence of arsenicosis in Terai, Nepal. *Journal of Health, Population and Nutrition*, Vol. 24, 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, A., and Ohtsuka R., 2005, Arsenic contamination in drinking water and skin manifestations in lowland Nepal: The first community-based survey. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, pp. 1-3.
- 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.
- Mirecki, E., 2005. As mobilization and

- sequestration during successive aquifer storage recovery (ASR) cycle tests in the carbonate Upper Floridan aquifer, South Florida, ISMAR 2005. 5th International Symposium, June 2005. Berlin German, pp. 304-310.
- 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, PP. 53-70.
- Tamrakar, N.K., Yokota, S., and Osaka, O., 2002, A toppled structure with sliding in the Siwalik Hills, midwestern Nepal. *Engineering Geology*, Vol. 64 No.4, pp. 339-350.
- Tamrakar, N.K., Yokota, S., and Shrestha, S.D., 2007, Relationships among mechanical, physical and petrographic properties of Siwalik sandstones, Central Nepal Sub-Himalayas. *Engineering Geology*, Vol. 90, pp. 105-123.
- * 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

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

The water quality survey was carried out in Parasi area in Nawalparasi County which locates in Terai lowland in Nepal, during 2 days, March 1 and March 2, 2008. Under this investigation, thirty hamlets which are scattered around the rural region of about 6 km to east and west and about 10 km to north and south were considered as our study area. At each farming village, the water quality of one selected well was investigated.

The outcome obtained from this investigation is as follows:

- (1) In our study area, the value of pH indicated the range between 7.3 and 7.9. There is no big difference among the sampling locations.
- (2) The mean value of total hardness is relatively high as 253.7 ppm (Tap water standard value of Japan is 300 ppm) and the highest value reached 399 ppm in the study area.
- (3) With regard to the arsenic concentration, there is the about 1300 times difference between the maximum value 1800ppb and the minimum value 1.4ppb, and the arsenic distribution is very local.
- (4) At the site where the high-dense arsenic was observed in our previous study (rainy season), the high-dense value of 550 ppb ~ 680 ppb is also detected this time (the dry season), and this value is correspondent to about 3 times of the previous study result.
- (5) Between arsenic concentration (over the 100ppb concentration) and ORP, the negative correlation ($r = -0.689$) was shown.
- (6) Especially strong reduced condition was confirmed in the strata between the depths from 13 m to 23 m. As the reduced state of the strata is getting intensified, the arsenic concentration increases accordingly.
- (7) Very high correlation ($r=0.95$) between arsenic (over the 50ppb concentration) and boron was also obtained.

* Institute of Environmental Studies Keiai University

** Japan Environmental Management Association for Industry

*** National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)