

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：32502

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2011～2015

課題番号：23401006

研究課題名(和文)ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染の実態とその対策に関する研究

研究課題名(英文)Current Status of Arsenic Contamination and its Countermeasures in Terai Lowland, Nepal

研究代表者

中村 圭三 (Nakamura, Keizo)

敬愛大学・国際学部・教授

研究者番号：60118180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：ネパール・テライ低地中央部のナワルパラシ郡パラシの東西約6km、南北約10kmの調査地域において、ボーリング調査、地下水の水質、水位の変動などから、調査地域におけるヒ素汚染の実態を水平的・鉛直的に把握するとともに、その汚染原因等について、水文学的、地質学的に明らかにした。

また、ヒ素汚染された地下水を飲用水として利用している調査地域の住民について、聞き取り、アンケート調査の結果を属性、調査項目別に解析し、水に対する意識構造と井戸水利用の実態を明らかにするとともに、住民の意見を踏まえ、ヒ素汚染されない最も安全な飲料水を確保するための適切な対策について研究した。

研究成果の概要(英文)：We have been conducting the arsenic investigation in the rectangle area, about 6km east-west and about 10km north-south, in Parasi, Nawalparasi county in the Terai lowland, Nepal.

While grasping the arsenic contamination horizontally and vertically in the surveyed area by the underground drilling survey, groundwater quality testing and by water level monitoring, we investigated the causes of the contamination hydrologically and geologically.

On the local inhabitants drinking the arsenic-contaminated groundwater, we interviewed them utilizing questionnaire survey and analyzed the results in order to make clear of their attitude towards the water and the actual usage of the drinking wells, and we suggested establishing appropriate measures to get the arsenic-free, safest drinking water.

研究分野：自然地理学

キーワード：ヒ素汚染 ネパール テライ低地 ナワルパラシ 地下水 井戸水利用 ボーリング調査

1. 研究開始当初の背景

ネパール南部のテライ低地においては、1999年に地下水のヒ素汚染が明らかになり、以後、各国の研究者が、その実態等に関する調査研究を進めてきた。当地域の約90%の住民は、飲料水を地下水に依存している。飲料水に含有されるヒ素基準は、ネパールでは50ppbとされ、調査結果によると、50ppb超が2.3%あり、50ppbを超える飲料水を日常的に飲んでいる住民からは、慢性ヒ素中毒患者が出現している。この地域における高濃度のヒ素の濃縮メカニズムを解明するためには、帯水層の地質状況の調査が重要であり、著者らは、テライ低地のナワルパラシ郡パラシにおいて、2007年9月以降、調査を継続してきた。

2. 研究の目的

(1) ネパール・テライ低地中央部のナワルパラシ郡パラシの東西約6km、南北約10kmの調査地域において、ボーリング調査、地下水の水質、水位の変動などから、調査地域におけるヒ素汚染の実態を水平的・鉛直的に把握するとともに、その汚染原因等について、水文学的、地質学的に明らかにする。

(2) ヒ素汚染された地下水を利用している調査地域の住民について、水に対する意識構造と井戸水利用の実態を明らかにし、ヒ素汚染されない最も安全な飲料水を確保するための適切な対策について研究する。

3. 研究の方法

(1) 調査地域は、ネパール・テライ低地中央部のナワルパラシ Nawalparasi 郡パラシ Parasi の東方約7kmに位置する。この地域は一面水田地帯となり、北側約10kmには、標高約150m~1500mのシュワリク丘陵が迫っている。30の集落を含む東西約6km、南北約10kmの範囲を調査地域と定め、すべての集落を対象

として、水質調査および生活実態調査を実施した。

(2) 井戸水については、水温、pH、EC(電気伝導度)、ORP(酸化還元電位)、DO(溶存酸素)、ヒ素濃度、地下水位、井戸深度などを現地で測定した。また、採水した水試料については、アルカリ度を測定し、その他の項目については日本に持ち帰り、イオンクロマトグラフおよびICPM-8500で分析した。

(3) 地質学的特徴を把握するため、深度50mまでを対象にした井戸の掘削調査を実施した。現地では電源や水源の確保が困難であったため、テライ低地でよく使用されている井戸の掘削方式である手動式打撃掘削工法(スレッジャー法)を採用した。

(4) 2012年3月の現地調査では、25の集落内において、各々複数の井戸について、合計100箇所の井戸の利用状況(観察と聞き取り)調査と、水利用に関する住民116人への聞き取り方式のアンケート調査を、ネパール人現地スタッフの協力のもとで実施した。

2014年3月の調査では、地下水のヒ素濃度が最も高い2集落(マフワ、コカプルワ)において、すべての井戸に関する聞き取り方式のアンケート調査を実施した。

4. 研究成果

(1) ヒ素に関する水文学的研究

当地域の帯水層は、第1帯水層(5-6m)、第2帯水層(12-23m)、第3帯水層(30-50m)に区分できる。第1帯水層のヒ素濃度は10-100ppbと相対的に低く、また、第3帯水層は0-10ppbと極めて低い濃度であった。

一方、第2帯水層では10-1000ppbの濃度を示し、当地域の汚染された地下水は第2帯水層に限定されている。

地下水のORPはほとんど負値を示し、

地下水は還元状態にある。ヒ素濃度の高い地下水では Fe^{2+} の濃度が高く、還元状態からのヒ素の溶出を説明することができる。調査対象地域は地下水流動が極めて遅いと考えられることから、多くの溶存イオンが還元状態で滞留しているものと推察される。

雨季よりも乾季の方が 10-12% 程度ヒ素濃度は高くなる。最高濃度の井戸では 1048ppb が観測され、多くの井戸で 500ppb を超える値が得られた。ヒ素による広範囲の地下水汚染を確認して、その水平方向および鉛直方向の分布を明らかにした。この地域の地下水の水位・流動、ヒ素濃度は、雨季と乾季、さらには年によっても大きく変動している。

これらのことから、ヒ素による地下水汚染のメカニズムや、帯水層とヒ素汚染との関わりなどの新たな知見を得ることができた。

(2) ヒ素汚染に関する地形・地質学的研究

ナワルパラシのヒ素汚染地域における地質状況を把握し、ヒ素濃集のメカニズムを解明することを目的として、数カ所において深度 20m から 50m 程度の観測井戸を掘削して堆積物試料を採取した。採取した地下水および堆積物の各種試料について、含有する重金属成分を中心に化学分析を実施し、地質状況と地下水中のヒ素濃度との関わりを詳しく調査した。

帯水層を構成する堆積物（細粒砂、粗粒砂）のヒ素の含有はきわめて少量であり、いずれも 1 mg/kg 程度であった。ヒ素は帯水層の間のシルト粘土層に多く含有し、XRF（蛍光 X 線分析）による含有量は 10-20mg/kg であった。一般環境と比べて特段の高濃度とは考えられないが、砂層と比べると 10-20 倍の含有量を示した。帯水層と難透水層を構成する化学組成に差異があることから、堆積した沈積粒子の母岩が異なることが推察される。XRD（X 線解析）による定性的な解析結果に

よれば、シルト粘土層には粘土鉱物や緑泥石のような風化鉱物が含まれ、帯水層には石英や長石のような造岩鉱物が、多く含有されることも分かった。

これらのことから、ヒ素は堆積物の沈積プロセスにおいて、シルト粘土層に集積し、それが地下水汚染の起源となっていることが考えられる。また、ヒ素は帯水層間のシルト粘土層に濃集され、嫌氣的な地質環境において地下水中に高濃度で溶出する可能性が示唆された。

本研究で得られたこれらの知見は、井戸の構造改善や安全な地下水の飲用指導、曝露リスクの防止など、今後ヒ素の対策や健康リスクの回避を実施する上で、有益な科学的情報を与えるものである。

(3) 住民の生活実態に関する研究

調査地域の住民にとって、飲料水のヒ素汚染は、解決を迫られる最重要な問題である。2012 年に 25 集落、2014 年には最も地下水ヒ素濃度の高い 2 集落マフワとコカプルワにおいて、雨季と乾季に全ての井戸について、聞き取りおよびアンケート調査を行い、飲用の水利用について実態調査を実施した。

現地では、40 年ほど前から掘られている、深さ 15.2-21.3m の井戸が多い。この深さは高濃度のヒ素が含まれる帯水層であることから、ヒ素汚染の問題が発生している。浅井戸の掘井戸（INAR）の水は、ヒ素の汚染はないが、不衛生で他の汚染の問題を抱えている。

ヒ素汚染の被害については、日本の JICA や海外およびネパール政府支援により、ヒ素汚染に関する啓蒙活動や井戸の提供が行われてきたが、住民の生活用水（飲み水）確保の解決策には未だ至っていない。また、ヒ素汚染対策として、深い帯水層から汲み上げる給水塔（オーバーヘッド・タンク）と水道が政府（外国支援）によって建設されてい

るが、電力事情や維持管理などの課題が残る。村民からは給水塔・水道の設置の要望が強いが、給水塔の建設は、現状の問題を早急に解決する手段とはいえない。それは、建設コストが高く、設置後の管理、給水時間、水道料金負担などの未解決な課題があるからである。

ヒ素被害患者でも医者に診てもらっていないことや、ヒ素の病気についての知識が乏しいこともあり、このことが問題を一層大きくしている。その背景にある地主制度の土地問題、カーストや民族からくる差別と貧困などが、住民の生活とヒ素被害にも関係していると考えられ、今後の検討課題である。

(4)ヒ素汚染対策に関する研究

ナワルパラシにおける地下水汚染の調査結果に基づいて、ヒ素の摂取による健康リスクの定量的な評価を実施した。地圏環境リスク評価システム GERAS(川辺、2008)を用いた地下水飲用の健康リスク診断によると、発ガンリスクでは $1.5 \sim 7.5 \times 10^{-3}$ と推算された。生涯にわたってこの汚染水を飲用したとすれば、人口 10 万人あたり 150 ~ 750 人の発ガン傾向の増加が見積られる。現地 NPO (ENPHO、2004)や JICA などが実施した疫学調査でも同程度の健康リスクが報告されており、きわめて深刻な状況と判断される。

そこで、現地で実施可能なヒ素対策として、地下水からのヒ素の除去方法、安全な井戸を作井するための方法などについて検討した。

砒素濃度が高いとされる現地の井戸から採取した地下水のヒ素濃度は、自然に放置した場合に、12 時間程度で半減、24 時間経過後に約 30%まで低下した。この間、地下水の ORP は、採取直後の-240mV より 12 時間後には+200mV まで変化した。この実験結果から、汲み上げた井戸水を半日程度静置した後に飲用することで、確実に健康リスクを低減出来ることが分かった。

砂、アルミ粉末、鉄粉およびその組み合わせを用いて、地下水中の砒素の除去効果を調べた実験結果から、砂や鉄を活用することにより現地で効果的に砒素を除去できることが実証された。実際に、現地で入手可能な川砂と鉄釘を詰めた砒素除去フィルターが多数導入されている。砂や鉄の量、地下水の滞留時間、さらには定期的なメンテナンスを確実に実施することにより、簡便に砒素を除去できることが実験的にも確認された。

今後は、これらの実証的な成果をもとに、より具体的な対策や解決策について検討を進めることが重要である。基礎的な研究分野では、地層や帯水層におけるヒ素の移動性や化学形態などの動態の解明、ヒ素による健康影響と地質環境との関わりについての基礎データの集積、さらには安価なヒ素除去方式の開発などの取り組みを行う。

現地では住民参加型のヒ素対策をさらに進めることが肝要である。そのためには、まずはヒ素の基礎知識を有し対策にも精通している人材の育成と普及が重要である。現地の NPO や自治体の関係者と連携して多くの人材を広く社会に輩出すべく、今後も協力活動を継続していく。さらには、現実的な対応として、本格的な代替水源の確保や農業などの産業と連動した事業に向けて、JICA などの協力も欠かせない。

5 . 主な発表論文等

〔学術論文〕(計 13 件)

松尾 宏・中村圭三・松本 太 (2016):
ネパール・テライ低地ナワルパラシにおける水利用と生活に関する研究、敬愛大学総合地域研究、No.6、31-46

中村圭三・駒井 武・松尾 宏・大岡健三・谷地 隆・松本 太 (2015):「ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染の実態とその対策に関する研究」研究成果報告書、敬愛大学国際学部、1-135

駒井武・中村謙吾・大岡健三・成澤昇・松尾宏・中村圭三 (2015): ネパール・テライ低地における地下水汚染の地球科学的特徴と数理統計解析、環境地質学論文集、25 巻、78 - 83、査読有

中村圭三・松本 太・駒井 武・松尾 宏・谷地 隆・大岡健三 (2015): ネパール・テライ低地中央部ナワルパラシにおける全天日射量・降水量・蒸発量観測結果 (2013)、敬愛大学総合地域研究、No.5、43-49

<https://keiai.repo.nii.ac.jp/>

松尾 宏・中村圭三 (2015): ネパール・テライ低地における農村集落の水利用に関する研究。敬愛大学国際研究、No.28、33-49

<https://keiai.repo.nii.ac.jp/>

中村圭三・松本 太・濱田浩美・駒井武・大岡健三・谷地 隆・松尾 宏・谷口智雅・戸田真夏 (2014): ネパール・テライ低地における気候環境調査、法政地理、No.46、17-24、査読有

中村圭三・松尾 宏・谷地 隆 (2014): ネパール・テライ低地農村の生活と水利用に関する研究、敬愛大学総合地域研究、No.4、110-126

松尾 宏・中村圭三・大岡健三 (2014): ネパールの自然環境に適した産業・生活、その変容と現代的課題について、敬愛大学国際研究、No.27、1-17

<https://keiai.repo.nii.ac.jp/>

大岡健三・駒井 武・成澤 昇・中村圭三・濱田浩美・松尾 宏・谷地 隆・松本 太 (2014): ネパール・テライ低地の砒素汚染と周辺地質、環境地質学論文集、24、45-50、査読有

駒井 武・大岡健三・中村圭三・濱田浩美・成澤 昇・松尾 宏・谷地 隆・松本 太 (2014): ネパール・テライ低地における砒素汚染の現地調査と対策、環境地質学

論文集、24、51-56、査読有

濱田浩美・中村圭三・駒井 武・大岡健三・谷口智雅・谷地 隆・松本 太・戸田真夏・松尾 宏・ギミル ハリ プラサド (2014): ネパール・テライ低地における地下水砒素汚染、千葉大学教育学部研究紀要、62、385-392

大岡健三・駒井 武・中村圭三・濱田浩美・松尾 宏・谷地 隆・松本 太・谷口智雅 (2013): ネパール・テライ低地の砒素汚染と上流域の関係、環境地質学論文集、23、147-152、査読有

駒井 武・大岡健三・中村圭三・濱田浩美・松尾 宏・谷地 隆・松本 太・谷口智雅 (2013): ネパール・テライ低地における砒素汚染と地質環境の関係、環境地質学論文集、23、153-158、査読有

[学会発表](計 11 件)

松尾 宏・中村圭三・松本 太 : ネパール・テライ低地における農村集落の水利用と生活に関する研究、日本地理学会春季学術大会、早稲田大学 (東京都新宿区)、2016 年 3 月 21・22 日

駒井 武・大岡健三・中村圭三・濱田浩美・成澤 昇・松尾 宏・谷地 隆・松本 太 : ネパール・テライ低地における砒素汚染の現地調査と対策、第 24 回環境地質学シンポジウム、日本大学 (東京都世田谷区) 2014 年 11 月 28 日

大岡健三・駒井 武・成澤 昇・中村圭三・濱田浩美・松尾 宏・谷地 隆・松本 太 : ネパール・テライ低地の砒素汚染と周辺環境、第 24 回環境地質学シンポジウム、日本大学 (東京都世田谷区) 2014 年 11 月 28 日

松尾 宏・中村圭三・谷地隆・Bhanu Bhakta Kandel : ネパール・テライ低地における農村集落の水利用に関する研究 (3)、日本地理学会秋季学術大会、富山大学 (富山市)、

2014年9月20・21日

中村圭三・松本 太・濱田浩美・駒井武・大岡健三・谷地 隆・松尾 宏：ネパール・テライ低地中央部ナワルパラシにおける全天日射量・降水量・蒸発量観測結果(2013)、日本地理学会秋季学術大会、富山大学(富山市)、2014年9月20・21日

駒井 武・大岡健三・中村圭三・濱田浩美・成澤 昇・松尾 宏・谷地 隆・松本太：ネパール・テライ低地における砒素汚染と地質環境の関係、社会地質学会、産業技術総合研究所(茨城県つくば市)、2013年11月30日

大岡健三・駒井 武・成澤 昇・中村圭三・濱田浩美・松尾 宏・谷地 隆・松本太：ネパール・テライ低地の砒素汚染と上流域の関係、社会地質学会、産業技術総合研究所(茨城県つくば市)、2013年11月30日

中村 圭三・駒井 武・濱田浩美・大岡健三・谷口智雅・谷地 隆・松本 太・戸田真夏・松尾 宏：ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染の実態とその対策に関する研究(2)、日本地理学会春季学術大会、立正大学(埼玉県・熊谷市)、2013年3月30日

松尾 宏・中村圭三・谷地隆・Bhanu Bhakta Kandel：ネパール・テライ低地における農村集落の水利用に関する研究(2)、日本地理学会春季学術大会、立正大学(埼玉県・熊谷市)、2013年3月30日

中村 圭三・駒井 武・濱田浩美・大岡健三・谷口智雅・谷地 隆・松本 太・戸田真夏・松尾 宏：ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染の実態とその対策に関する研究、日本地理学会秋季学術大会、神戸大学(神戸市)、2012年10月6・7日

松尾 宏・谷地 隆・中村 圭三・駒井武・濱田浩美・大岡健三・谷口智雅・松本太・戸田真夏：ネパール・テライ低地に

おける農村集落の水利用に関する研究、日本地理学会秋季学術大会、神戸大学(神戸市)、2012年10月6・7日

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村圭三 (NAKAMURA, Keizo)
敬愛大学・国際学部国際学科・教授
研究者番号：60118180

(2)研究分担者

駒井 武 (KOMAI, Takeshi)
東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号：30357024

松尾 宏 (MATSUO, Hiroshi)
敬愛大学・国際学部国際学科・講師
研究者番号：60637081

松本 太 (MATSUMOTO, Futoshi)
敬愛大学・国際学部国際学科・講師
研究者番号：00449323

大岡健三 (OOKA, Kenzo)
敬愛大学・総合地域研究所・客員研究員
研究者番号：20711873

谷地 隆 (YACHI, Takashi)
敬愛大学・総合地域研究所・客員研究員
研究者番号：70598044

(3) 研究協力者

成澤 昇 (NARISAWA, Noboru)

西田茂博 (NISHIDA, Shigehiro)

Dr. Makhan Maharjan

Bhanu Bhakta kandel

Shrestha Rosan

Ghimire Hari Prasad

Gam Prasad Gurung