

ネパール・カトマンズ地区の河川・地下水水質特性

愛媛大学 正会員 ○中島淳子、京都大学 正会員 西村文武
愛媛大学 学生員マニタ ティミルシナ、正会員 ネットラ P. バンダリ

1. はじめに

ネパールはアルプス=ヒマラヤ造山帯に位置し、首都カトマンズは同国の中央-東部に位置する標高約 1300m の構造盆地に開けた都市である。カトマンズの人口は 70 万人強といわれているが、周辺の都市を含む同盆地内の人口は 150 万人を超えており、また近年周辺地域からの人口流入も著しいことから、今後ますます都市としての重要性が高まっていく地域である。しかしながら急激な人口増加に伴い、周辺環境の悪化も懸念されている。ここでの環境問題は、下水道や廃棄物処理施設の社会資本整備が未だ不十分なことのみならず、家庭からの排水管の下水道への未接続や河川等への廃棄物の不法投棄など、いわゆるハード面、ソフト面双方において対応が出来ていないことが要因であると考えられる。市民の衛生向上や環境問題に起因する健康へのリスクを低減させるためには、当面解決すべき課題を明らかにし、効果的な施策を講じるとともに、長期的かつ持続的な観点から、最も望まれる対策を取る必要がある。その第一歩として、正確な現状把握を行うことが求められる。本研究ではこのような観点から、カトマンズの水辺空間における水質調査を行った。市内を流れる代表的河川である、Dhobikhola 川、Bagmati 川、Bishnumati 川、Manahara 川において、都市域に流入する前から都市域通過後の地点にかけての水質調査とともに、対象域での地下水水質を観測した。

2. 調査概要

複数年にわたり調査を実施してきているが、2007 年時の調査概要を例として示す。2007 年 9 月 27 日と 28 日にわたり、カトマンズ盆地内の河川水と湧水をあわせて 25 カ所選定し、現場での水環境調査を行うとともに採水を行った。図 1 に調査地点位置を示す。カトマンズは例年 9 月から翌年の 5 月までが乾季であるが、2007 年は、9 月まで雨期が継続しており調査前日まで 4 日間程度の降雨が継続していた。調査期間中には降雨はほとんど休止していたが、昨年の調査時と比較すると河川流量は多く、ほとんどの調査地点で感じられた臭気は本年の調査では確認されなかった。採水は Dhobikhola 川から 6 地点(図 1 中の D1~D6)、Bagmati 川から 6 地点(同 G1~G6)、Bishnumati 川から 3 地点(同 B1~B3)、Manahara 川およびそこへ流入している都市河川から 3 地点(同 M1~M3)、そして M1 付近の丘陵部からわき出ている湧水地点(同 S1)、および Patan Durbar Square 内の湧水 3 地点(同 S2~S4)、Bhaktapur の湧水 3 地点(同 S5~S7)計 25 地点である。現場では HORIBA 社製マルチ水質モニタリングシステム W-23XD を用いて溶存酸素(DO)、pH、電気伝導度、酸化還元電位(ORP)、水温を測定すると共に、100mL を採水し機器分析用に採水した。機器分析では、有機炭素(TOC: 燃焼触媒酸化-非分散型赤外線式ガス分析(NDIR)TOC 自動計測法、島津製作所製 TOC-5000A)、無機イオン(陽イオン: NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、陰イオン: Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、イオンクロマトグラフ法、島津製作所製 LC-10A、分離カラム 陰イオン: Shim-packIC-A3、陽イオン: Shim-packIC-C3、移動相 陰イオン: 3.2mM Bis-Tris、8.0mM p-ヒドロキシ安息香酸 混合液、陽イオン: 3.0mM シュウ酸水溶液)、元素類(Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, V, Zn、誘導結合プラズマ発光分析装置 ICP-AES(パーキンエルマー製 Optima3000、愛媛大学総合科学研究支援センター)を測定した。

3. 結果および考察

図 2 にサンプリング地点 D1, B1, G1, M1, S1 地点での元素等の濃度分布を、また図 3 に各採水地点での DO, ORP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, P, Mn, Fe の濃度分布を示す。Dhobikhola 川の 6 地点(D1~D6)、Bishnumati 川の 3 地点(B1~B3)、Bagmati 川の 6 地点(G1~G6)、Manahara 川およびそこへ流入している都市河川から 3 地点(M1~M3)について、各々の支川においては、河川が市街地を経て流下するにつれて、溶存酸素濃度が低下する傾向にあった。

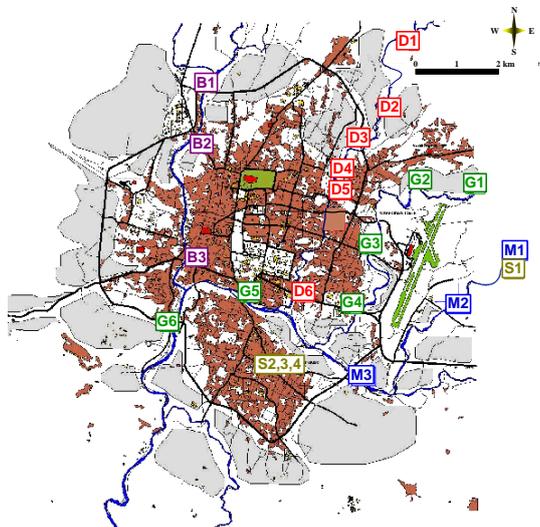


図 1 調査地点位置

しかし昨年調査した乾季のデータと比較すると溶存酸素の絶対値は高く、また酸化還元電位の流下方向に対する明確な低下傾向は見られなかった。これは乾季においては河川水流量が小さく、滞留時間が長くなり酸素消費反応を同一区間で長い時間受けられるのに対して、雨季にはその影響が小さくなること、また都市域からの汚濁水が希釈されることなどの効果が反映されたものと考えられた。CdやCr, Pbの有害な元素は上流部においてもほとんど検出されなかった。B, Ba, Ca, Mg, Na, Siはどの地点でも検出されたが、これらはアジア地域で一般に観察される濃度範囲であった。他の年時の調査でも同様の傾向が見られたがCuやSrが高い濃度で検出されており、またHgは飲用水とするには不適切な濃度で検出される地点もあった。地表水では、流下方向にアンモニア性窒素が増加する傾向があり、溶存酸素の低下と併せて、都市域からの汚水、とりわけ生活廃水による汚濁が強く示唆された。また嫌気状態で溶出が促進されるFe, Mn, Pなどの物質濃度も流下方向に行くにつれて濃度上昇の傾向が観察された。乾季と比較して雨季の場合は、水質（濃度）のみから判断すると汚染の程度は小さくなるものと考えられるが、総量的には水質変化ほどは差がなく都市域から汚濁物が排出されていることが考えられる。雨季乾季を通じて、カトマンズ周辺では、人為的汚染による水辺空間の汚染が顕著であることが分かった。一方で地下水では、どの地点においてもアンモニア性窒素は検出されなかったものの、逆に河川水で検出されたアンモニア性窒素と同程度の硝酸性窒素が検出されている。これは経年的な変化傾向は見られなかった。都市域での地下水は、生活廃水由来と考えられる窒素分による硝酸性窒素汚染がどの地域でも進行しているものと考えられた。

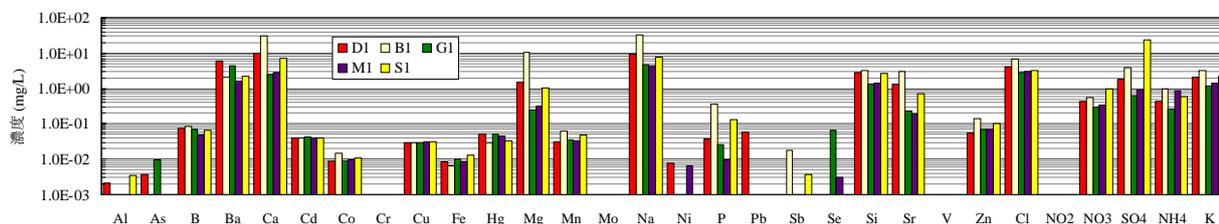


図2 サンプルング地点 D1, B1, G1, M1, S1 地点での元素等の濃度

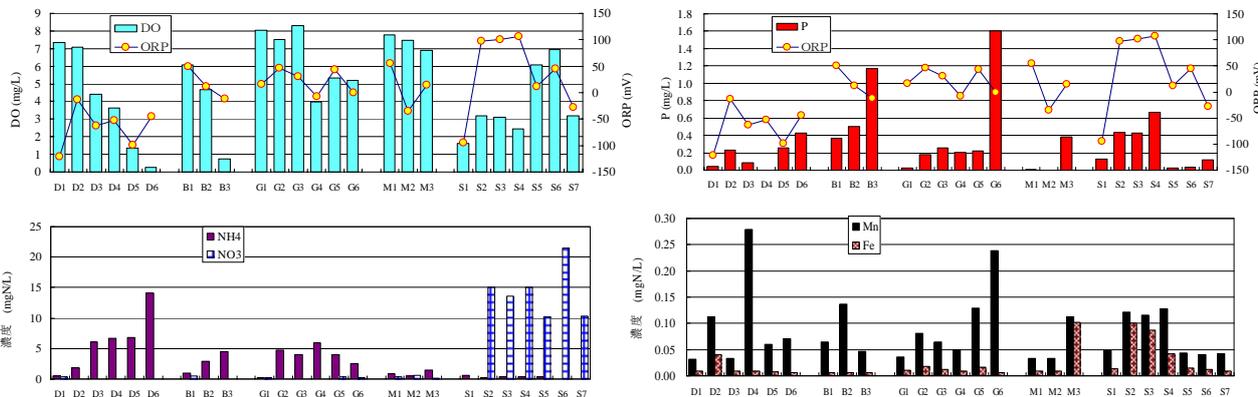


図3 各採水地点での DO, ORP, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, P, Mn, Fe の濃度分布

4. まとめ

カトマンズの水質汚濁は雨季乾季を通じて著しく、とりわけ典型的な有機汚濁が進行していることが明らかになった。また、地下水の硝酸汚染も深刻であり、飲料水として用いるには適切でない程度に汚染が進行していることも明らかになった。環境保全のための社会資本整備も現在のカトマンズには急務となっているが、それを推進する際に必要となる適切な水質モニタリングを実施し、そのデータに基づいた、生活環境改善や自然環境回復のための対策法を策定・実施することが期待される。

5. 謝辞

今調査研究を実施するにあたり、愛媛大学工学部環境建設工学科、愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻の学生の皆様ならびにネパールサイドのカウンターパートの方々に協力を得ました。記して謝意を表します。

6. 引用・参考文献

西村文武・中島淳子・矢田部龍一・ネトラ P. バンダリ：ネパール・カトマンズ周辺の水辺空間における元素分布特性に関する調査研究，土木学会水工学論文集，第 55 巻，S 1309-S 1314，2011 年 2 月

7. 連絡先

愛媛大学工学部環境建設工学科地盤防災研究室 中島 淳子

〒790-8577 松山市文京町3 TEL & FAX: 089-927-9817, E-mail: nakajima@cee.ehime-u.ac.jp, HP:http://www.soil.cee.ehime-u.ac.jp/