

ネパール・カトマンズ域の水辺空間における元素分布特性と地盤特性

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 フェロー 矢田部 龍一
 愛媛大学 正会員 ネットラ P. バンダリ

1. はじめに

カトマンズは、南北に位置するヒマラヤ山脈の前縁山地とシバプリー山地の地盤の上昇速度が大きいという周辺地盤特性があり¹⁾、また最深で 700m もの沖積層が堆積している盆地として形成特性から²⁾、カトマンズ周辺地は絶えず地すべりや土石災害流の危険に晒されているとともに、地震発生時の地盤液状化の危険性も指摘されている。災害から社会資本を保護するためには、災害に強い構造物とすることはもちろんであるが、一方でその地域の地盤特性をはじめとする自然環境特性を把握しておくことも、望ましい社会資本整備には必要となってくる。ネパールにおける地盤環境調査はこれまでに数多くなされてきており³⁾、その解析やそれに基づく対策がとられている。一方、地すべり地の特性を地下水質から判定しようという試みが従来からなされている⁴⁾。岩石の風化の度合いや流動形態により地下水や周辺水域の水質は変化するため⁵⁾、すなわち地下水、河川水や湖沼水の水質は地盤環境を含む周辺環境を反映した結果であるため⁶⁾、水質から周辺環境特性やその変化を推し量ることも不可能ではない。水質項目の中には簡便で迅速に測定できるものもあり、連続計測など監視体制の方法によっては、洪水や土石流のモニタリング手法としうることも考えられる。さらに都市創造の観点からも今後高層建築構造物や地下利用の可能性も出てくると考えられることから、地下水に関する水量、水流、水質の調査も必要となってくると考えられる⁷⁾。しかし、そのためには、まず当該地域の水辺環境の調査を重ね水質特性を把握しておく必要がある。また、水質調査を行うことで人間活動の環境への影響についての情報も得られることから、防災のみならず環境保全の観点からも水質データ蓄積を含む環境調査が希求される場所であるが、諸般の事情で必ずしも十分なデータ収集が実施されてきているわけではない。そこで、今回カトマンズ盆地での水辺空間における水質分布、元素濃度分布を調査し、この地域における現状の水環境特性を把握するとともに、地盤環境を考慮し防災や環境保全への適用について考察することとした。

2. 調査概要

2006 年 11 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 23 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 9 月から翌年の 5 月までが乾季であり、調査当日も晴天であり、河川流量も少なかった。採水は Dhobikhola 川から 8 地点(図 1 中の d1~d8)、Bagmati 川から 6 地点(同 g1~g8)、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 4 地点(同 m1~m4、m4 は m3 地点の少し上流部から流入している都市河川)、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 内の湧水地点(同 s2)の計 23 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、200mL 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)、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)、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)を測定した。

3. 調査結果および考察

各元素の測定結果を基にした、サンプリング地点間の相関分析では、Dhobikhola 川の上流 2 地点(d1 および d2)、Bagmati 川の上流 2 地点(g1 および g2)、そして Patan Durbar Square 内の湧水地点(s2)で、これらの各々 2 地点の相関が 0.8 以上を示し、高い相関があった。一方 Dhobikhola 川の他の地点(d3 から d8)、Bagmati 川の他の採水点(g3 から g6)、そして Manahara 川の(m1 および m4)地点においても、それらの各々 2 地点の水質相関が 0.8 以上示し、

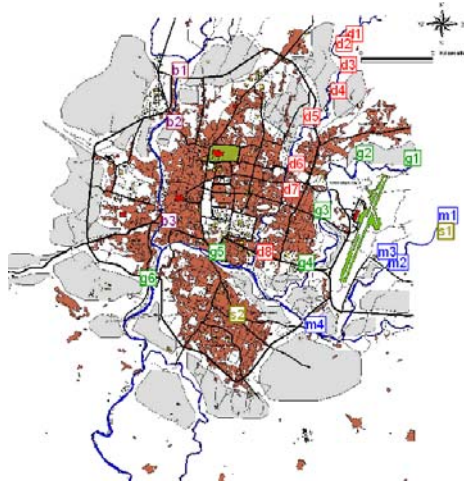


図 1 調査地点位置

極めて類似した水質特性となっていた。図2に調査地点位置間の水質類似度による分類を示す。図1には、採水地点とともにカトマンズ市内の人口集積地についても示している。中央には王宮があり、それを取り囲むようにリングロード内で旧来の市街地が形成されている(図中の茶色部分)。そして、近年さらにリングロードの周辺に住宅地が建設され、人口増加が見られる地域が形成されている(図中の灰色部分)。採水地点 d1, d2, g1, g2 は都市部に流入する前の郊外部であるため、都市内で発生する汚濁物質流入等の影響をほとんど受けていないところである。また都市域に入った地点では、ほとんど未処理の生活廃水等が流入しており、溶存酸素の枯渇(0.22~1.01mg/L)や ORP の低下(-120~10mV)、アンモニア性窒素の増加(6~31mgN/L)、有機物の増加(6~48mgC/L)等、その状況は河川が異なってもほとんど同等に汚染されている状況であった。また、s2 は都市域内ではあるが湧水であり、有機物やアンモニア性窒素濃度は、河川上流部のものと同等であった。したがって採水地点 d1, d2, g1, g2 および s2 地点の水質が、有機汚濁やそれに伴う水域環境変化の影響を受けない本来この地域で形成される水質であると考えられる。Cd や Cr, Pb の有害な元素は特に検出されなかった。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。Cu や Sr が高い濃度で検出されており、また Hg 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。これらが天然由来のものであるかは再度精査する必要があるが、この地域を特徴づけるものとして取り扱える可能性がある。図3に d1, d2, g1, g2, s2 地点での元素等の濃度分布を示す。都市域では人為的な汚染が著しく、河川水は溶存酸素がほとんど無い酸欠状態となっていた。溶存酸素の枯渇は、有機物やアンモニア性窒素などの被酸化物質の流入によるが、その結果酸化還元電位が低下し、嫌気状態で溶出が促進される Fe, Mn, P などの物質濃度が上昇している。底泥に蓄積した元素が水中の環境の変化で放出されることにもなり、これらは本来そこにあるべき生態系を破壊する。堆積層が厚いこの地域では、河川環境を通じた地下水汚染も懸念される。Patan Durbar Square 内の湧水地点(s2)では、嫌気状態の影響は見られなかったが一方で都市域からの窒素供給と考えられる硝酸窒素上昇が観察されており、その濃度は飲料水質基準値の2倍を超えている。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により、生活環境や自然環境

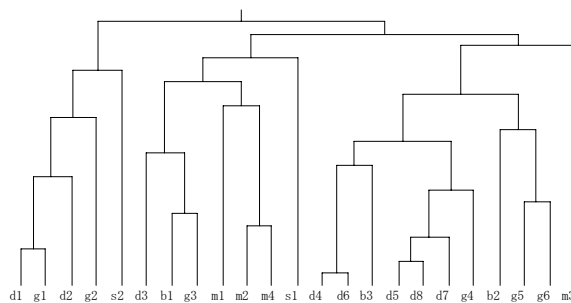


図2 調査地点位置間の水質類似度による分類

の回復を図るとともに、加えて、本来そこにある環境を知りさらにそれを防災等、他の目的にも役立てるなど種々の活用が期待される。

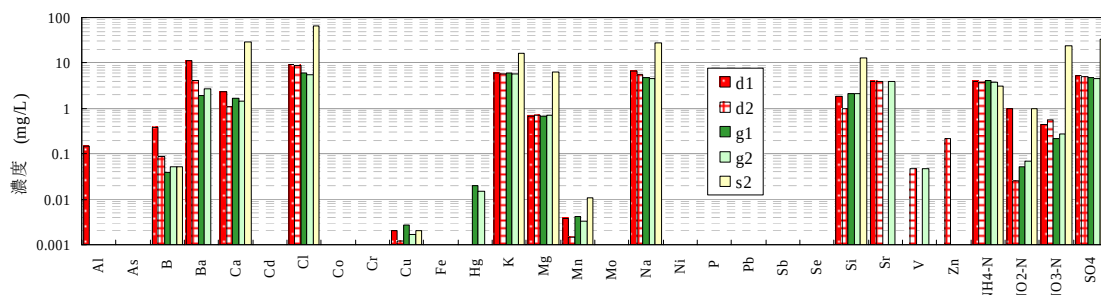


図3 d1, d2, g1, g2, s2 地点での元素等の濃度分布

4. まとめ

カトマンズ盆地内の水辺空間における元素分布特性から、この地域を特徴づける元素群として Cu や Sr が考えられた。また、カトマンズの水質汚濁は著しく、早急な対策が必要であることがあらためて明らかになった。

5. 引用・参考文献

- 1) 酒井治孝: ヒマラヤ山脈の上昇テクトニクス, 地学雑誌, Vol.114, No.1, pp.113-117, 2005.
- 2) 矢田部龍一, 岡村未対, ネトラ・パンダリー, カトマンズ盆地の砂地盤の液状化特性, 地盤工学会四国支部平成19年度技術研究発表会講演概要集, pp.77-78, 2007.
- 3) R. Yatabe, N. Bhandary & D. Bhattarai : Landslide hazard mapping along major highways of Nepal, Ehime Univ. & Nepal Eng. College, 2005.
- 4) Xu Huilong, Yasue OKI, Osamu SATO and Hideki WATANABE: Geochemistry of Groundwaters in the Utsunomata Landslide Area, Maki Village, Higashikubiki District, Niigata Prefecture, 地すべり, 第34巻, 第2号, pp.25-34, 1997.
- 5) F.Nishimura, R.Yatabe, N.Yagi, K.Yokota & T.hibata: Characteristics of groundwater quality in fracture zone landslides at Shikoku area, Proceedings of the international symposium on slope stability engineering, Slope Stability Engineering, pp. 1159-1163, 1999.
- 6) 関陽児: 土壌・風化帯の形成と水質変化, 地質調査所月報, 第49巻, 第12号, pp.639-667, 1998.
- 7) 坪田 邦治, 西垣 誠: 地下水流動保全における横断方向流下モデル実験とその解析, 第41回地盤工学研究発表会, pp.1135-1136,

キーワード ネパール 元素分布 水環境

連絡先 〒790-8577 松山市文京町3 愛媛大学 工学部 環境建設工学科 中島 淳子 TEL 089-927-9817