

氏 名	Abida Mumtaz Farooqi
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	第4983号
学位授与年月日	平成19年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位論文名	The nature and extent of arsenic and fluoride affected groundwaters and soil from east Punjab, Pakistan: the role of geochemical factors on the mobility and probable sources of these pollutants in natural hydrological cycle (パキスタン・東部パンジャブ地方におけるヒ素とフッ素による地下水・土壌汚染の性質とその拡大：天然の水循環系におけるこれらの汚染物質の移動を規制する地球化学的要因と推定される汚染源について)
論文審査委員	主査教授 相川 信之 副査教授 吉川 周作 副査 助教授 益田 晴恵

論文内容の要旨

パキスタン・パンジャブ地方におけるフッ素・ヒ素による複合汚染地下水について、汚染物質の起源と拡大機構を明らかにするために、地下水・土壌・原因物質と推定される雨水・石炭・肥料などの安定同位体を含む化学成分を分析した。また、掘削を行い、汚染帯水層の構造を明らかにした。

研究対象地域では、20～27m、40～60m、80m以深の3層から採水している。これらは、すべて被圧地下水である。11集落の約140井戸から採取した地下水で、ヒ素濃度が最高1.8mg/L (WHO勧告基準は10 μ g/L)、フッ素イオン濃度は22mg/L (同1.5mg/L)であった。高濃度のフッ素とヒ素を含む地下水は同じではない。最上位の地下水が最も汚染されている。フッ素は中位と最下位の地下水の中では基準値を超えるものは少ないが、ヒ素は中位と最下位の地下水も含めてすべての地下水で50 μ g/Lを超えていた。

約50地点から採取した土壌と現地で使用されている肥料や石炭に含まれるフッ素・ヒ素・リンの含有量の関係から、フッ素の最大の原因物質はリン酸肥料であることが明らかであるが、大気汚染物質もある。ヒ素は肥料由来のものもあるが、石炭燃焼に伴う大気汚染由来のものが最も多い。

高濃度に汚染された土壌は化学工場やレンガ工場が集中する地域で見られる。一方で、地下水汚染はこれらの地域から離れた地下水流動系の下流で地形高度が低く、帯水層が下位に凹んだ地域にも集中している。すべての水はHCO₃-Na型の水質を示し、フッ素はpHと良い正の相関を示し、また、Caが低濃度である特徴が際立っている。これらの事実は、地表に散布あるいは堆積した人為汚染物質の地下水中への浸透と、同時に起る停滞的帯水層でのアルカリ性でCaやMgに乏しい水質の形成に伴って、ヒ素やフッ素などの汚染物質が地下水中に高濃度に溶存することを示している

論文審査の結果の要旨

世界的に地下水需要が増加する状況下で、ヒ素とフッ素による地下水汚染は、最も深刻な水質悪化の原因である。これらの元素は微量であっても健康被害を生じるからであるが、世界的に大規模な汚染が多発しているためでもある。

パキスタンは国土の大部分が半乾燥地域にある農業国であり、生活用水や灌漑のために大量に地下水を利用している。その結果、塩害や水質悪化が多発している。本研究の調査地域は、パキスタン第2の都市であるラ

ホール郊外の新興工業地帯と隣接する農村地域であるが、地下水汚染による健康被害が青少年を中心に多発していた。この地域の地下水に高濃度のヒ素が含有されていることは既に明らかにされていたが、本研究により、フッ素が健康被害の原因物質であることを初めて明確にした。また、地下水と土壌、雨水、肥料、石炭などの汚染源となり得る物質の分析を行い、大気と土壌汚染の進行に伴って地下水汚染が進行すること、フッ素の原因物質は肥料>工場廃水>石炭の燃焼によるばい煙であり、ヒ素のそれは石炭の燃焼によるばい煙>肥料であることが明らかになった。また、地下水の富栄養化も進んでおり、大気汚染物質>肥料>家庭排水による硫酸イオンと、家畜の排泄物と家庭排水>化学肥料による硝酸態窒素の高濃度の汚染が同時に進行していることを明らかにした。また、最も揚水頻度の高い第一被圧地下水（取水深度は地表から24~32m）が、最も汚染が進行しているが、それより深い地下水へも汚染が伝播していること、これらの汚染地下水の分布は、停滞しやすく、不透水層があまり発達していない帯水層の構造に規制されていることを明らかにした。

ここで示された汚染状況はパキスタンでの数少ない報告例であり、特にフッ素については、最初の学術報告である。また、人為汚染物質が天然の物質循環系に取り込まれる過程を明瞭に示したこと、物質循環に関わる水文地質学的規制要因を明らかにしたことの学術的意義は大きい。結果の一部は既に2報の国際学術誌に掲載、あるいは受理されている。したがって、本論文は博士（理学）の学位を授与するに値するものと審査した。