

内モンゴル自治区フホト市地区環境状況の調査報告書

都市環境工学専攻 馬寅

1. はじめに

近年中国の高度経済成長に従って、北京、上海のような大都市だけではなく内陸部の都市も経済の波に乗り、第一産業から第二産業に転換しながら都市化を加速している。このような都市である内モンゴル自治区フホト市は年間 20%以上の経済伸び率が全国においてもトップレベルである。しかし、地域内企業の環境対策を取り入れる体制や都市の廃棄物処理システムの整備が経済成長に追いつけないため、地域環境が悪化しているのを目でも見える。この状況の中、フホト市地区の土壌中有害重金属物質の分布状況を把握し、地域住民の健康へのリスクを評価するために、2007 年 8 月にフホト市で環境調査を行った。

2. 調査概要

2-1 調査対象地の概要

調査地であるフホト市は図 1 に示すように、内モンゴル自治区の中心部に位置し、東をトモチエ平原、西を包頭市、南を黄河流域、北を陰山山脈により囲まれている。地形は西から東へ低くなっており、平均海拔標高 1,065m で、比較的平坦な地形である。年間平均降水量はおよそ 400 mm、蒸発量が降水量の 4 倍以上に達する中温帯乾燥気候に属する。春季は乾燥で風が強い、冬季は寒冷、夏季は温熱で降水が 6 月～8 月の間に集中し、月平均気温の変動範囲は -13～ 22℃ である。フホト地区において、季節による激しい表面蒸発で地表面塩素濃度の変化を及ぼす。調査地域の地質は砂と粘土の互層が主体で、沖積平野の下部には白亜紀の湖成泥質砂層が分布している。フホト市は近隣の 4 つの県、1 つの旗（ホシヨ）によって構成され、面積は 17,410 km²、地域人口は約 300 万人である。耕地面積は 40 万 ha で灌漑用水は殆ど地下水を利用する。農業が重要な産業で、農産物の特産は小麦、トウモロコシ、ヒマワリ、ジャガイモなどである。1980 年代以前には、農村地域住民は浅い井戸（深度 10～20 m）から飲用水を得ていた。経済の発展、農地の開墾、人工の増加などの人間活動により、90 年代から、村自治会はポンプ井戸（深度 180m 以下）を使い始める。2003 年の調査でフホト盆地中心部の井戸（農村地域）の

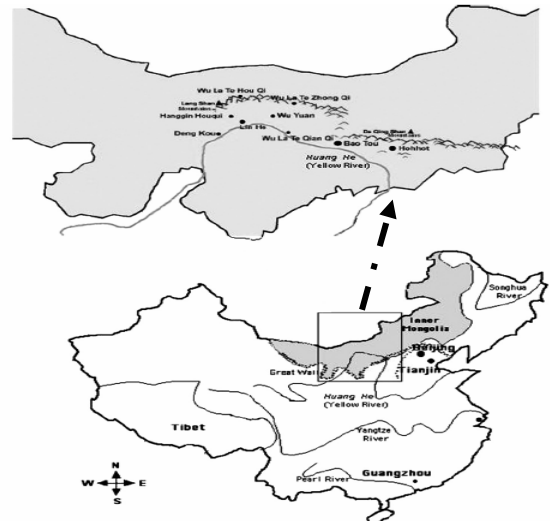


図 1 調査地の位置



図 2 サンプリングの位置

ヒ素汚染が確認された。本調査は経済の発展、人口の増加により市区付近の農地の土壌が人為的な原因で汚染されたかどうかを確認することを目的とし、調査を行った。

2-2 サンプリング場所及び方法

本調査は土壌、水（地下水、地表水）、植物の三種類サンプルを採集した。土壌サンプルは図 2 を示

したように、市区周辺の 23 カ所（深度−2.5cm、−7.5cm）から 46 サンプルを採集した。バックサンプルとしては市区の北部にある陰山山脈の麓で一つのサンプルを採集した。各場所での採集量は約 60g である。地下水サンプルは市区南部での六つの井戸、地表水サンプルは市区南部の大黒河の 2 箇所と一箇所の陰山山脈の湧き水から計 9 サンプルの水を採取した。各地点の採集量は 100m³ である。水を採集する同時に、水質（pH、ORP、DO、電導度、水温）の測定を行い、結果は表 1 に示す。植生サンプルは土壌サンプルを採取した農地で、4 サンプルのトウモロコシを採取した。

	温度(°C)	ORP (mV)	pH	電解率(S/cm)	DO(mg/L)
1	19.4	217	8.63	63	7.43
2	14.4	198	8.46	98	8.58
3	11.3	197	7.18	363	3.03
4	11.3	198	7	515	2.8
5	18.3	126	7.81	65	4.48
6	20.2	135	7.81	67	4.36
7	12.1	50	7.85	68	4.56
8	18.9	-50	7.03	360	
9	19.3	-63	7.81	230	

表 1 水質の測定結果

3. 実験

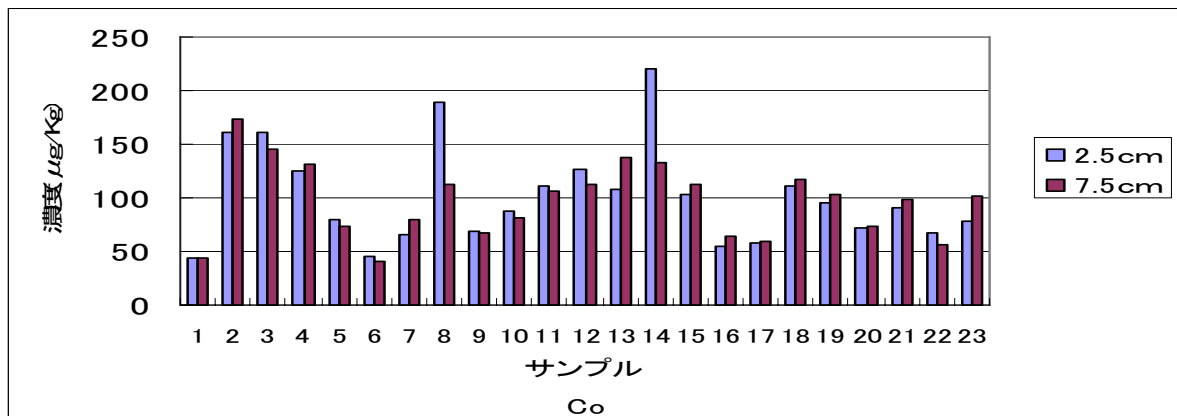
3-1 測定機器及び試薬

本実験では、全てのサンプルは ICP-MS で測定し、内標準法で濃度を計算する。土壌サンプルの実験においては使った脱イオン水と塩酸、そして水、植生サンプルの実験においては、使った硝酸や実験中利用した標準試料や試薬は全部に株式会社和光により提供した。植物サンプルの実験においては、マイクロウェーブを用いて植物の種を完全に硝酸に溶けるようにした。

3-2 測定方法

測定方法は環境省が定めた環境測定基準に基づいて行った。土壌サンプルについてはまず土壌を自然風乾にした。そして乾燥した土壌を 2mm 篩いで通過させ、溶媒（塩酸、脱イオン水）と重量体積比 3%、10% に調整した。調整した試料液は振動機で 2 時間に振動させる後、遠心分離機で固体と液体を分離し、上澄み液を 0.45 μm フィルターでろ過ポリエチレン管に入れ、ICP-MS で測定した。水サンプルについてはまず液体状態の安定性を保つために、採集した水に硝酸を入れ、pH 値を 1 までに調整した。調整した液は 0.45 μm フィルターでろ過し ICP-MS で測定した。植生サンプルについては採集したトウモロコシを自然風乾し、0.5 g トウモロコシに 10ml 硝酸を加え、マイクロウェーブで溶解させた。そして解けた溶液に 2ml の塩酸を混入し、再びマイクロウェーブをかけた後、試料液を 0.45 μm フィルターでろ過し ICP-MS で測定した。全ての測定過程中、内標準物質としては In と Tl を使った。

4. 実験結果及び考察



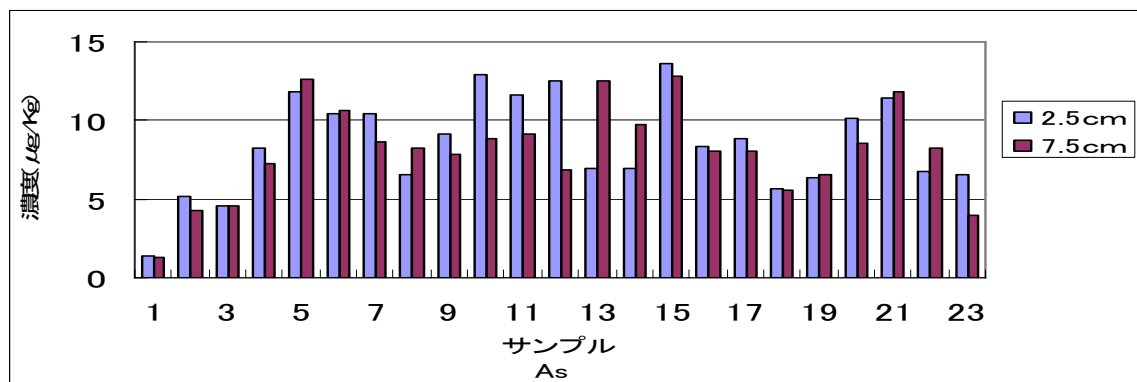
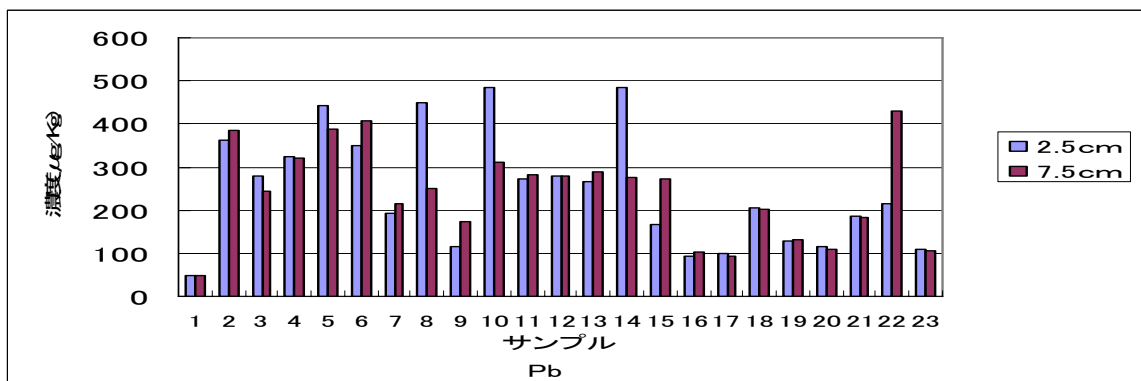
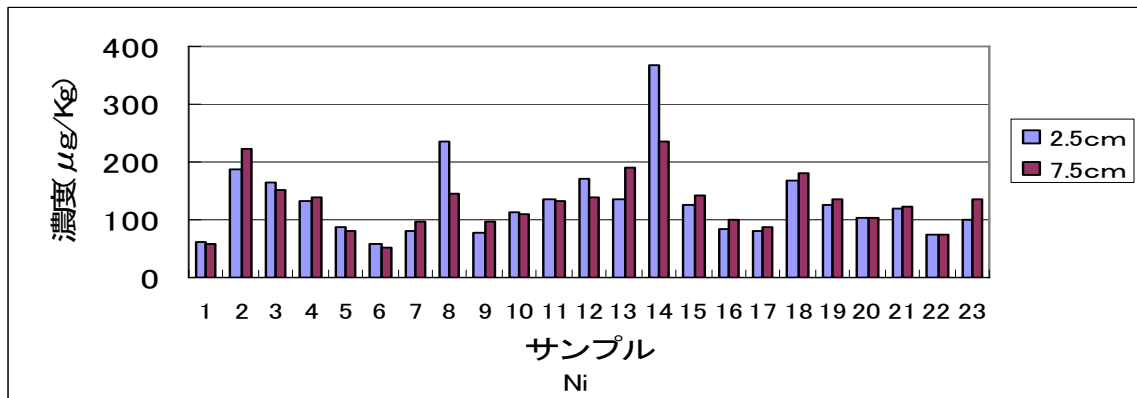


図3 土壤の測定結果

土壤サンプルにおいて、Co、Ni、Pb、Asの測定結果は図3に示した。陰山山脈の麓から採取したNo. 1サンプル(バックサンプル)は市区周辺から採集した他のサンプルよりCo、Ni、Pb、Asの濃度が比較的に低い。すなわち、フホト地区では元々自然土壤中のCo、Ni、Pb、Asの濃度はNo. 1サンプルが示した値に近いと考えられる。Pbは殆どの場所でWHOが定めた基準 $10\mu\text{g/Kg}$ よりはるかに高い。1/3の測定場所では土壤中Pb濃度が $300\mu\text{g/Kg}$ より高い、最大値は $485\mu\text{g/Kg}$ である。新工業開発団地や製鋼所の周辺での土壤中、Pbの濃度は他の場所より相対的に高いことが今回の調査で明らかにした。Asは大部のサンプルがWHOの環境基準 $10\mu\text{g/Kg}$ より低い、最大値は $13.65\mu\text{g/Kg}$ である。測定データによると、フホト市中心部土壤中のAsの濃度が西北部より相対的に高い。フホト盆地中心部では地下水中Asの濃度が盆地の端よりはるかに高いことが報告された(Applied Geochemistry et al, 2003)。そこで、フホト地区では農業灌漑用水は殆ど地下水を利用するので、地下水中のAsが土壤に蓄積するのではないかと考えている。CoとNiはPbのような濃度が高いが、人の健康に影響を及ぼすレベルではないかと考えられる。全ての測定元素においては、土壤深度-2.5cmでの濃度が大体深度-7.5cmより高い。土壤の採集場所は殆ど農地なので毎年畝

を作るために、土壌を耕す作業を行っている。この原因で深度-7.5cm の濃度が-2.5cm の濃度より高いサンプルもあった。

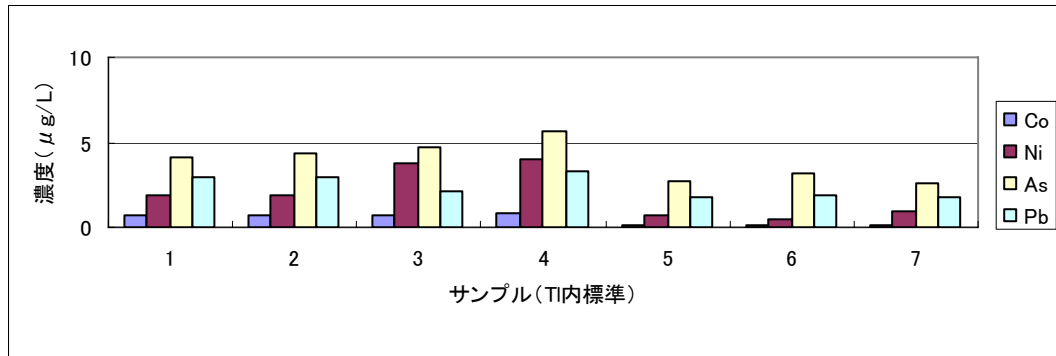


図4 地下水の測定結果

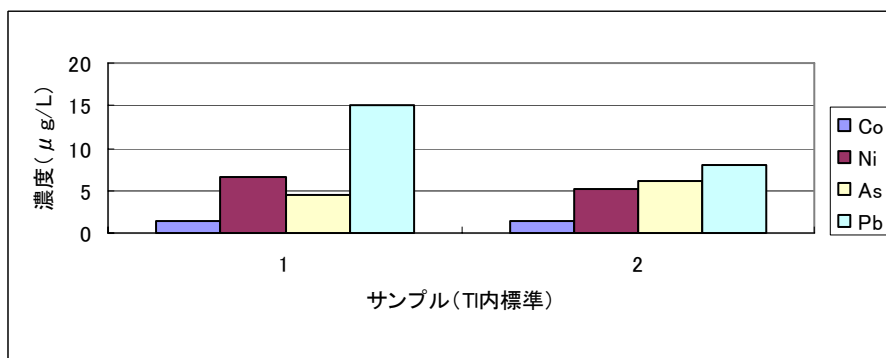


図5 地表水の測定結果

地下水に関しては、測定データを見ると No. 1～No. 4 サンプル中の各元素の濃度は大きな差がありません。No. 1 サンプル湧き水と No. 2、3、4 サンプル浅水層(深度 15～40m)地下水の水源は同じだと考えられる。No. 5、6、7 は No. 1、2、3、4 サンプルより、四種の重金属の濃度がやや低い。それは水深と関連している。No. 5、6、7 サンプルの帯水層の水深は全部 180m を越えているからである。No. 1～7 サンプルにおいて、水中の有害重金属の濃度は WHO ガイドライン (<math>< 10 \mu\text{g/L}</math>) に満たし、そのまま飲用水をととして利用しても人の健康へのリスクが小さい。地表水に関しては季節河である大黒河の水を測定した。フホト市の下水処理率がまだ高くないので、生活排水や工場廃水を大黒河に直接に排出するのは日常的に起こっている。そこで、大黒河は見た目黒くて強い臭気がある。しかし、4 種有害重金属に関する測定の結果では人を驚かせる値ではない。この結果は大黒河流域に大きな汚染源が存在していないことを反映しているのではないかと。

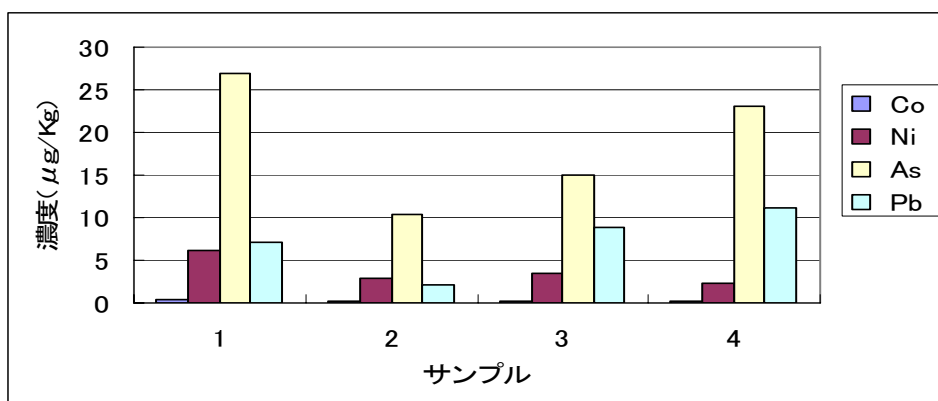


図6 トウモロコシの測定結果

植生についての調査は土壌の調査した農地でのトウモロコシを用いて行った。トウモロコシ中のAs濃度が相対的に高いが、日本における食品中の濃度 ($<0.01\sim 1.03\mu\text{g/g}$) を超えず、人の健康への影響が小さいと考えられる。No. 1 と No. 2 サンプルを比較すると、No. 1 サンプルの濃度が倍ぐらい高い。それはトウモロコシを採集した農地の土壌中、As、Pb の濃度が高いことと関連すると考えた。

今回の調査は、フホト市近郊の西部と南部地域の土壌でのAs、Co、Ni、Pb四種有害重金属の濃度を把握することができた。調査結果を見ると、フホト市近郊では重度土壌汚染がないと考えられる。ただし、Pbの濃度が環境基準を超えるので、今後土壌中のPbの動向について注目すべきだ。フホト盆地の中心部地下水中のAsの濃度が高い ($200\mu\text{g/L}$) と報告されたが、今回の調査では地下水中のAsの濃度が高い地域での土壌を採集することができなく、農地灌漑による土壌中のAsの濃度は上昇するかどうかを確認することができなかった。フホト地区土壌中のNi、Coの濃度は京都大学桂キャンパスの土壌中の濃度 (約 $30\mu\text{g/L}$) に比べ、かなり高いことを明らかになった。しかし、WHOはCo、Niについての基準を定めていない、またCo、Niによる人体への疫病被害報告がないので、土壌中の濃度が高くても人の健康へのリスクは小さいと考えられる。測定元素において、市区近郊の土壌サンプルは自然状態と考えるNo. 1 サンプルと比較し、全ての近郊サンプルの濃度が高い。その主な原因は社会生産活動による土壌汚染だと考えられる。地下水については、水中有害重金属物質の濃度は安全なレベルで、今まで有害重金属による被害報告がない。地表水については、「汚水河」になっている大黒河の有害重金属物質の含有濃度は安全レベルに達しているが、河の中に生きる生物が殆ど生存していないので、根本的な改善が必要である。植物については、今回は実験的に調べた。結果を見ると、他の元素よりAsの濃度が高いことを分かった。しかし、人体への影響がないとは言える。フホト市は元々内モンゴル自治区の行政、文化、軽工業の中心なので、化学産業や鉱業による土壌汚染は考えがたいが、1985年以來都市人口の増加、産業の多元化、そして地区エネルギー産業の促進や処理施設のような都市インフラ事業の建設遅れ等の原因で地区環境状態が悪化している一方である。残念ながら、土壌状況に関する過去調査データを入手することができなく、今回の調査では土壌中の重金属の変動動向を明らかにすることができなかった。経済の発展を支えながら地域住民の健康も守るために、今後定期的に詳しく土壌調査を行う必要がある。

謝辞

今回の調査に資金援助をいただき京都大学土木会の皆様に深く感謝の意を表します。またご指導していただいた米田稔教授、中山亜紀助教授と協力していただいた内モンゴル農業大学の李青丰教授に心から感謝いたします。さらに、数多くの助言を与えてくださった研究室の諸先輩、及び同輩諸君にも深く感謝します。