

# ロシア南ウラル地方カラバシュ鉱山周辺の 金属汚染の現状

北川 隆司<sup>1)</sup>・Varely UDACHIN<sup>2)</sup>・地下まゆみ<sup>1)</sup>・菅原 慎一<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

我が国で有名な四大鉱害事件として、栃木県足尾銅山をはじめ、愛媛県別子銅山、秋田県小坂鉱山、茨城県日立鉱山の鉱害がある(第1図)、これらはいずれも1800年代の終わりから1900年代の初頭にかけて多大な被害が発生した。この4鉱山とも銅を主として採掘している硫化物鉱床を胚胎し、鉱山のそばに銅の精錬所が配置されていた(写真1)。精錬所から排出される煤煙により草木が消失し、周辺の山々は土壌を失い、岩石が露出状態となった。そのため台風や豪雨時には、しばしば斜面崩壊などの土砂災害が発生し、採鉱に伴う廃石や選鉱廃滓により銅・カドミウム・ヒ素等の重金属により汚染された土壌や地下水・表流水が河川に流れ込み、河川の魚介類の絶滅、周辺の住民や下流の田畑の作物の生育不良などによる多大なる被害を及ぼした。しかし、いずれの鉱山も1970年代初頭までに閉山となっており、その後現在までの長年にわたる治山事業により、別子・小坂・日立はほぼ山々の植生が回復している。しかし、我が国の公害の原点となった足尾鉱山周辺の山々には数十年



第1図 日本の四大鉱害地。

にわたる治山事業でも植生は未だに十分に回復していない。

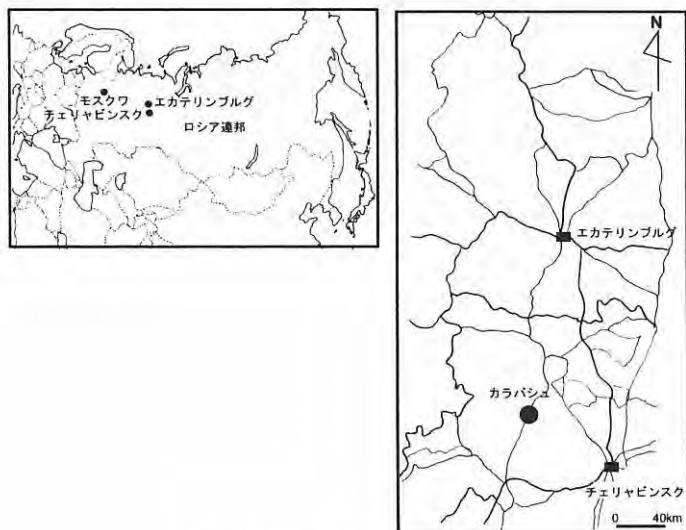
足尾鉱山での被害は鉱山や精錬所付近のみならず、20km以上離れた渡瀬川下流の穀倉地に汚染された土壌や河川水が流れ込んだことにより被



写真1 足尾の精錬所と周辺の山々・選鉱所・精錬所(1998年撮影)。

1) 広島大学大学院 理学研究科:  
〒739-8526 広島県東広島市鏡山1-3-1  
2) 鉱物学研究所 ロシア科学アカデミーウラル支部

キーワード: ロシア, 鉱害, 銅精錬, 硫化鉄鉱床, 土壌汚染, 河川水, 重金属汚染, 煤煙, 選鉱廃滓



第2図 ロシア・カラバシュの位置.

害は広範囲に拡大した。足尾鉱山の銅の精錬は1956年に煤煙から硫酸製造が開始され、二酸化硫黄の排出はようやく止まった。その結果、煤煙による被害は大幅に解消された。その後、1973年に閉山され400年あまり続いた歴史に幕を閉じている。しかし、それまでに植生を失った山々は、通称日本のグランドキャニオンと呼ばれ、山腹斜面の土壌が流出し、露わになった岩肌が現在でも残されている。

ところで、足尾鉱山に類似した鉱害が現在も継続している場所は、世界中にいくつもある。そのなかでもロシア南ウラル地方のカラバシュ(Karabash)の町の鉱害は特筆すべき状況である。カラバシュの町は銅の鉱山と精錬所からなるウラル地方の典型的な鉱山町である。そこでは、かつての足尾鉱山と同じ煙害と選鉱および採鉱により周辺の草木の消失・土壌汚染・河川水の汚染が広範囲に広がっており、現在も煤煙による被害や重金属で汚染された地下水や土壌汚染が進行している。しかし、ロシア人共同研究者によると、公には鉱害は無いとする立場がとられており、人的被害に関するデータは公にされていない。

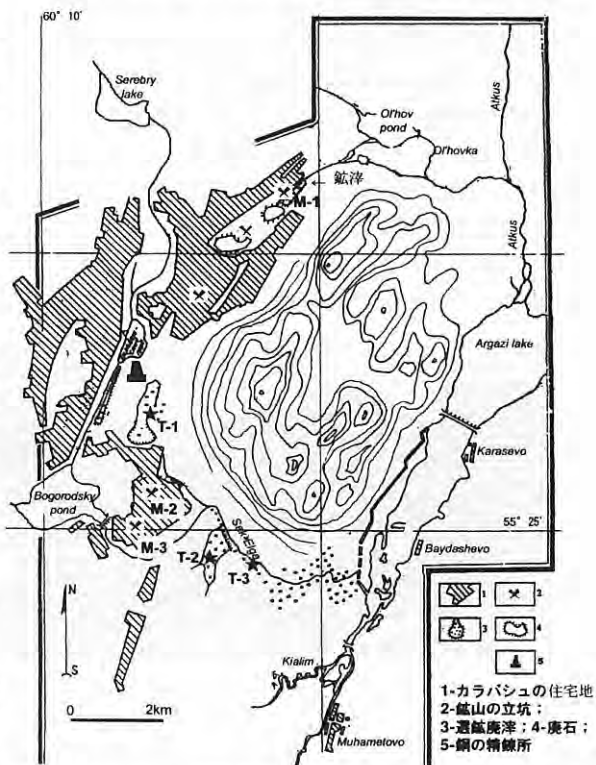
このような状況が長く続いているにもかかわらず、最初我々が調査した1997年時点では、鉱害対策は全くなされていなかった。2002年の調査時には鉱害に対する対策がやっと緒についたばかりであった。カラバシュは現在も一般の外国人立ち入

り禁止地域である。本稿ではカラバシュの町の煙害による現時点での被害の実体と、周辺の土壌・表流水・降雪・野菜等に含有する重金属量を測定した結果を合わせ紹介する。

## 2. カラバシュ(Karabash) 鉱床の地質概要と精錬所

### 2.1 カラバシュの町の概要

カラバシュの町はロシアの南ウラルにあり、ウラル地方の経済の中心都市であるエカテリブルグ(Ekaterinburug)の南約150kmに位置している(第2図)。カラバシュは硫化鉄鉱の鉱山と精錬所を中心にして発展した典型的なウラル地域の鉱山町である(第3図)。第3図に示すように住宅地は主に町の西側に、東側は標高611mのカラバシュ山(周囲約20km)となっており、その裾野に以前は住宅地があったようであるが、現在は全く荒地となっ



第3図 カラバシュの町の住宅地・鉱山立坑・選鉱廃滓・廃石・精錬所の位置を示す概略図.



写真2 カラバシュ山頂上から見るカラバシュの住宅地と精錬所.

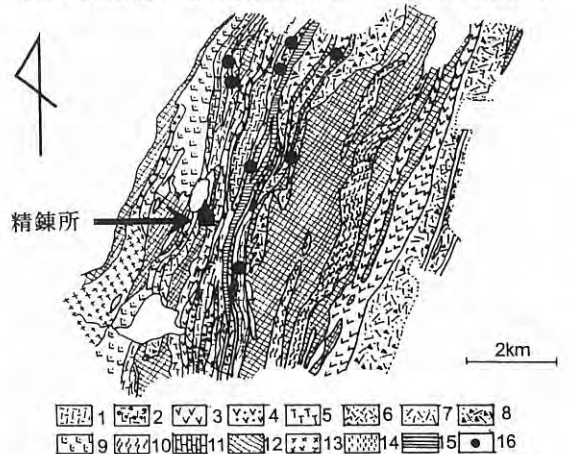


写真3 銅の精錬所とその煤煙.

る。(写真2, 3). 年間を通しての主な風向は西から東で, それは精錬所から東に位置しているカラバシュ山の方向である. カラバシュ山の周辺にはいくつかの河川があり, 大都市であるチェリャビンスク (Cheliabinsk) (第2図) に供給される貯水池であるアルガジ湖 (Argazi: カラバシュ山の東部に位置している) に流れ込んでいる (第3図).

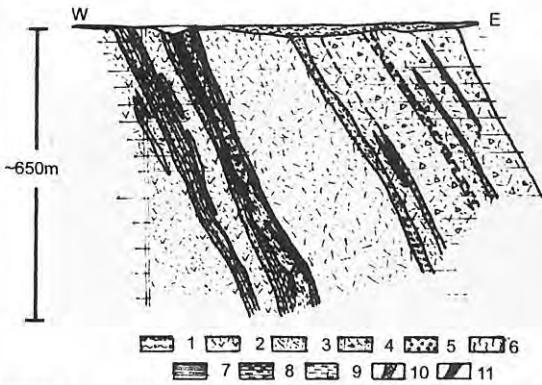
## 2.2 カラバシュ鉱山

カラバシュ鉱山は1991年に閉山され, 現在は鉱石の採掘はなされていない. 鉱体は地質平面図 (第4図) と地質断面図 (第5図) に示されているように, 火山岩である安山岩, デイサイトや火山性碎



第4図 カラバシュ地域の地質平面図と鉱体の位置 (Rakcheer, 1977). 1:輝緑岩, 2:斑状輝緑岩, 3:安山岩, 4:含輝石斑状火山岩, 5:輝緑斑岩, 6:デイサイト, 7:火砕岩 (デイサイト+安山岩+玄武岩), 8:黒色片岩, 9:はんれい岩, 10:千枚岩 (絹雲母岩), 11:石灰岩, 12:蛇紋岩, 13:閃緑岩, 14:石英-絹雲母片岩, 15:千枚岩 (絹雲母岩以外), 16:鉱体.

ている. 鉱体はカラバシュの町の地下にあり, 坑内掘で採掘され, 5ヵ所の立坑跡が現在も残されている. 精錬所は住宅地の東端に位置し, 現在 (2002年) も絶え間なくSO<sub>2</sub>を含む排煙が続いてい



第5図 地質断面図と鉱脈(Rakcheer, 1977). 1: 現世堆積物, 2: 安山岩質火砕岩, 3: 凝灰岩, 4: 火砕岩, 5: 蛇紋岩, 6: デイサイト, 7: 千枚岩, 8: 緑泥石片岩, 9: 緑色片岩, 10: 黄鉄鉱鉱石, 11: 銅鉱石.

層岩中に層状に胚胎している。鉱体はほぼ南北方向に連続しており、富鉄体は幅10~15m、長さ200~300m、深さ600~800mに達し、それらが数本存在している(第4, 5図)(Rakcheer, 1977)。鉱体の一つでは坑内掘により地表から906mの深さまで採掘が進んでいた。鉱体は黄銅鉱と黄鉄鉱を主とし、方鉛鉱・磁鉄鉱・硫砒鉄鉱・金紅石等が含まれている。銅は平均約3%含有されており、1,000万トンの鉱石を有している。その他重要な元素としては亜鉛(2~5%)・金(4ppm以上)・銀・アンチモニー・カドミウム・コバルト・ガリウム・ゲルマニウム・インジウム・スカンジウム・タリウム・砒素・カリウムがある。脈石鉱物としては、石英・白雲母・緑泥石が認められる。

採鉱による廃石(ズリ)の一部は数ヵ所の立坑跡近くに、十数mの高さまで蓄積され、現在も放置されている(写真4)。それらには黄鉄鉱の鉱石を野積みしている場所と見間違えるくらいに多量の鉱石が含まれている。これらの廃石から溶出した元素により、胆礬( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )、葉緑礬( $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Fe}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ )、瀉利塩( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )、緑礬( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )などの二次鉱物が生成している。さらに、雨水により廃石から溶出した重金属元素(銅・亜鉛・鉛・砒素など)は鉱床の開発の際に排水される地下水とともに表流水となり河川に流出している。鉱山閉山後、1995年まで地下水は立坑を通して日量4,000 $\text{m}^3$ も汚染水を地表に流し続けていた。しかし、現在は地下水面は安

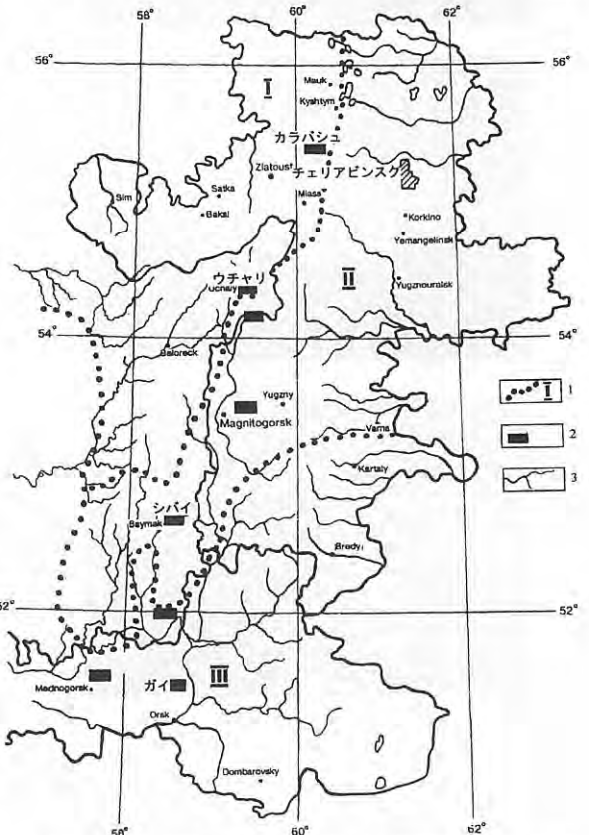


写真4 鉱山の立坑とそのそばに放置されている廃石。

定しており立坑からの湧出は認められない。

### 2.3 精錬所

精錬所は1910年に銅の精錬が開始され、その後、今日までの約90年間稼働し続けている。しかし、1990年から1995年までの5年間、住民の鉱害



第6図 南ウラルの主な硫化鉄銅床。1: 地域境界, 2: 硫化鉄銅床, 3: 河川。



写真5 ダムへの選鉱廃滓の蓄積状況(T2)。

に対する反対運動により中断した時期がある。その後、経済的理由により再び再開し、現在に至っている。1925年から鉱石の粉碎器が導入され、1950年代の後半からはカラバシュ鉱山からだけでなく、南ウラルの同じ硫化鉄鉱床(第6図)であるウチャリ(Uchaly)・ガイ(Guy)・シバイ(Sibay)鉱床などから集められた鉱石の精錬も始まり、南ウラルの中心的銅の精錬所となっている。

カラバシュ鉱山以外からの鉱石にはセリウム・ヒ素・水銀がカラバシュ鉱床と比較して多く含まれている。ガイ鉱床には1%程度の水銀が含まれている。鉱石から銅の精錬途中で金や銀は取り出されているが、鉛・カリウム・ヒ素・カドミウム・セレンなどの金属は抽出されていない。

鉱石を選鉱して有用鉱物粒を採取した残りの選

鉱廃滓(サンドスライム)は精錬所の周辺に蓄積されており、約70年間で3,000万トンに達している。そのほとんどは、カラバシュの市街地東部から南部の主として3ヵ所(T1, T2, T3)に蓄積されている(第3図)。T1の選鉱廃滓は1958年以来190,000m<sup>2</sup>の広さに厚さ1.2~4.8mで蓄積され、全体で590万トンに達している。その約65%は粒度0.074mm以下である。混入している主な金属鉱物は黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、砒素四面銅鉱、磁鉄鉱である。それらから溶出した金属イオンから葉緑礬、緑礬、石膏(CaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O)、瀉利塩、アルノーゲン{Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>・18H<sub>2</sub>O}が二次鉱物として生成している。T2地点は精錬所から約5km南東の位置にあり、谷に約35mの高さのダムが造られ、150,000m<sup>2</sup>に約3,200万トンの選鉱廃滓が蓄積されている(写真5)。T3は1925年から1958年までの選鉱廃滓が幅100mから1,100mにわたり、河川を埋めている。それは厚さ0.7~8m、平均1.5mで全体の面積は180,000m<sup>2</sup>にも達している。

また、町の北には高さ約30m、距離数百mにわたり精錬により排出した黒色の鉱滓が谷に放置されている(第3図)。

### 3. 鉱害による被害の概要

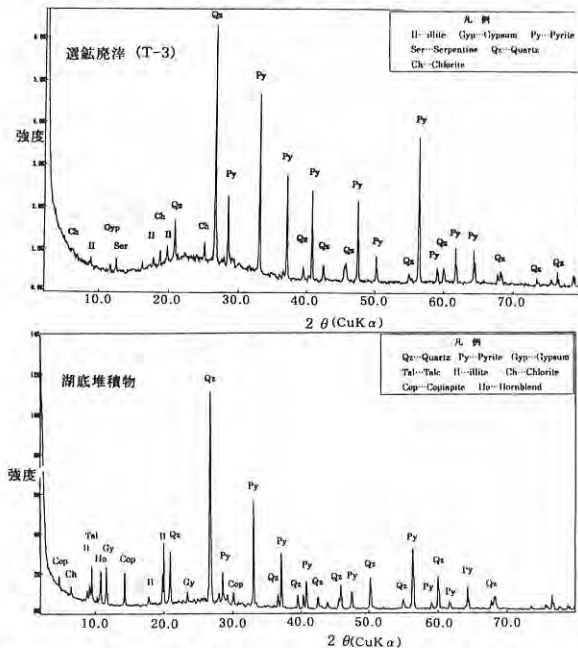
前述したように、このカラバシュの町では鉱山と精錬所が同じ場所にあり、かつて我が国の足尾鉱山で発生した鉱害と類似した状況に現在も置かれている。カラバシュの町に入るとまず目に付くのは全く草木が無く、露岩と石ころだらけになった土壌の無いカラバシュ山である(写真6)。土壌は雨や雪解けによりカラバシュ山の麓に堆積している。しかし、そこにも全く草木は認められない。精錬所から絶え間なく排出される煤煙(写真3)による草木の消滅はカラバシュ山の東側の斜面にも及び、周囲20kmには全く動植物の営みが認められない。所々に木々の枯れた根が斜面に残されており、かつてここに森林があったことを示している(写真6)。

前述したように旧立坑の近くには現在も廃石が放置されており(写真4)、そこから雨水により流れ出す重金属から、銅や鉄の酸化物、水酸化物、硫化物の二次鉱物の生成が著しい。廃石から流出した水は近くの河川に流れ、さらに下流の池に流入

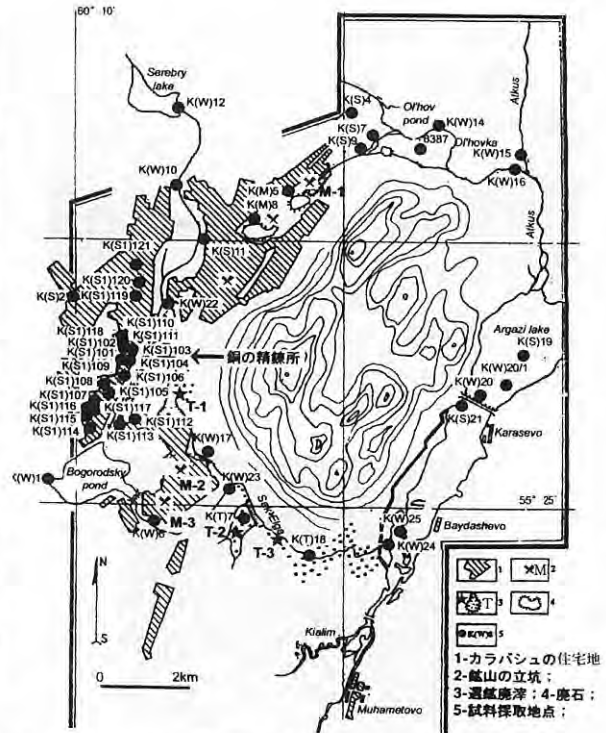


写真6 土壌と草木を失ったカラバシュ山の斜面と山頂。

している(第3図)。その池の流出口にはこぶし大の石灰石が多数置かれており、流れ出る水の一応の中和が試みられているようであるが、流れ出る水のpHの値は一般表流水の値より低く、十分に機能しているとは言えない。さらに広範囲に影響を及ぼしているのは、選鉱廃滓である。前述したように町の3ヵ所(第3図)に蓄積されているが、そこからの汚染された表流水の流出は著しい。特に目立つのはT1とT2に蓄積されている選鉱廃滓である(写真5)。T2では河川そのものが堆積場にな



第7図 選鉱廃滓とアルガジ湖の湖底堆積物のX線粉末回折図。II:イライト, Gyp:石膏, Py:黄鉄鉱, Ser:蛇紋石, Qz:石英, Ch:緑泥石, Tal:滑石, Cop:葉綠簪, Ho:ホルンブレンド。



第8図 カラバシュでの土壌と表流水の試料採取地点。S:土壌, W:表流水。

っており、河川水の氾濫域は全ての草木を消滅させている。枯れた木の株に多量の二次鉱物の生成が認められる。ここを流れる表流水はサカエルガ(SakaElga)川に合流し、さらにそれらは貯水池であるアルガジ湖に流れ込んでいる。また、表流水とともに流出した選鉱廃滓はサカエルガ川の堆積物となっている。

アルガジ湖の水量が減る時期に湖底の堆積物を直接見ることができる。湖底の堆積物は選鉱廃滓とほとんど同じ状態で、数mの深さまで堆積している。その主な金属鉱物は黄鉄鉱・黄銅鉱・閃亜鉛鉱などである(第7図)。干上がっている湖底の小さな水たまりは、酸化鉄や水酸化鉄が生成しているものと推定され、血を流したように真っ赤に染まっている。そのpHは2~3を示した。

カラバシュの町の現在の人口は15,000人ほどである。ロシア政府から公式発表はなされていないので、正確にはわからないが、伝聞情報によると、そのほとんどの住民には何らかの疾患があり、特に子供達に呼吸器系の病が多いとのことである。正確な情報を得ることができないのは現在のロシ

第1表 表流水のpH, Ehと化学分析結果 (mg/l).

No	Samples	pH	Eh(mv)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	K(W)1	6.9	255	17.96	48.80	9.57	4.88	1.05	11.45	0.16	0.01	0.02	0.03
2	K(W)6	3.4	475	765.63	no	337.86	198.80	26.10	62.48	1.52	4.35	5.10	8.75
3	K(W)6/1	3.1	510	1863.64	no	467.03	197.41	9.73	57.76	51.83	18.02	3.86	14.81
4	K(W)10	6.6	445	29.25	79.30	16.79	7.58	1.35	12.87	0.08	0.09	0.03	0.03
5	K(W)12	6.6	334	27.03	39.04	16.90	3.61	1.42	10.79	0.16	0.01	0.01	0.01
6	K(W)14	6.7	305	361.90	101.26	354.29	95.78	2.59	19.75	0.24	0.23	0.01	0.36
7	K(W)15	7.2	272	30.91	115.90	20.93	9.40	0.65	12.61	0.17	0.12	0.01	0.02
8	K(W)16	7.2	267	361.90	140.30	175.71	46.39	1.73	9.87	0.01	-0.01	-0.01	-0.01
9	K(W)17	3.5	524	1238.10	no	530.74	184.90	4.85	40.29	7.14	14.16	1.44	4.17
10	K(W)18	6.2	346	212.26	48.80	52.14	42.77	1.64	14.47	0.31	2.26	0.15	0.56
11	K(W)20	6.9	294	22.44	52.46	15.93	9.94	0.65	6.48	0.29	0.04	0.01	0.02
12	K(W)20/1	2.7	644	no	530.08	137.95	0.08	7.40	360.7	43.90	12.70	17.10	17.10
13	K(W)22	6.9	360	62.00	109.80	43.50	15.42	3.02	17.66	0.28	0.09	0.06	0.18
14	K(W)23	7.0	278	61.18	91.50	30.64	13.86	1.11	8.82	0.41	0.39	0.06	0.04
15	K(W)24	7.2	269	15.69	85.40	13.14	8.80	0.57	6.47	0.16	0.03	0.01	0.04
16	K(W)25	7.1	233	45.71	61.00	18.43	13.31	0.70	7.27	0.34	0.25	0.02	0.05

アの置かれている現状からして致し方ない、筆者らはガラバシュでの人的被害の正確な実態に迫りたかったが、現時点では不可能であった。

#### 4. 化学分析結果

##### 4.1 表流水

第8図に表流水（主として河川水）の採取位置（Wで表示）を示す。また第1表にCa・Mg・K・Na・Fe・Mn・Cu・Zn及び、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>・HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>・pH・Ehのそれぞれの測定結果を示した。第1表で最もpHの低い2.7を示したのは、前述したアルガジ湖の水たまりの値[試料番号K(W)20/1]である。また、カラバシュの南西の端に位置しているボゴロドスキー(Bogorodsky)池から流れ出る河川の水[K(W)6]のpHは同じく3.1と3.4とかなり強酸性を示した。近くに鉱山の立坑があり、廃石が放置されていることが原因と推定される。河川水のサンプリング位置[K(W)17]でも3.5と強酸性を示した。この位置も近くに鉱山の立坑があり、廃石とさらに選鉱廃滓を通過した水がサカエルガ川に流れ込む位置となっている。その他の河川水のpHは6~7を示し、通常の河川水の値と大きな違いは認められなかった。これらの河川は水量も多く、汚染の影響がさほど表れなかったものと考えられる。pH2.7を示すサンプルは他のサンプル[K(W)6・K(W)7・K(W)20/1]に比較して溶存イオンが極めて多く、特にpHに強い影響が考えられるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が極端に高い(700~1,800ppm)。一般の河川水の溶存イオン値(数ppm)(理科年表, 2002; 北野, 1995)に比較して数十から数百倍高い値を示している。

Morishita (1981)によると、足尾鉱山における精錬所からの排水ではpH3.2~4.4を示し、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は732~1,542ppm、Cuは2~4ppmの値が報告されている。この値はアルガジ湖の分析値に類似して

いる。しかし、アルガジ湖は精錬所からの直接排水が流れ込んでいるのではなく、合流河川水であり、カラバシュの精錬所からの排水(直接採取できない)中の含有値が極端に高くなっていることが推測される。ちなみに、足尾鉱山においてはその排水と渡良瀬川との合流地点での値はpH4.8、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は103.8ppm、Cuは0.5ppmとかなり低い値となっている(Morishita, 1981)。

また、Honma (1981)によると1970年に測定した秋田県小坂鉱山と精錬所近くを流れる小坂川のpH及び重金属(Cu, Zn, Mn)の含有量は、pHが4.5~7.8で、Cuは1.1~6.5ppm、Znは0.25~6.2ppm、Mnは0.25~2.52ppmと報告されている。カラバシュの著しく汚染されたpH3~4の河川水と比較すると、いずれもカラバシュの方が数倍高い値を示している。

一方SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の多い水にはHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>がほとんど含まれていない。CaやMgイオンは世界の平均河川の値(理科年表, 2002; 北野, 1995)に比較して数十倍から数百倍高い値を示す。

##### 4.2 土壌

カラバシュにおける土壌の試料採取地点(Sで表示)を第8図に示す。土壌試料は表層から30cm程掘り下げ、その断面から2cmごとに採取した。特に住宅地で試料を採取し、それらの重金属(Mn・Cu・Ni・Co・Zn・Pb・Cd)含有量を第2表に示す。表に示すようにいずれの含有値も高く、特に、Cu・Pb・Znは顕著で、それぞれ1,375~12,000ppm(Cu)、63~1,132ppm(Pb)、725~4,000ppm(Zn)である。Honma (1981)が報告した、秋田県北部の硫化鉄鉱床に伴う重金属汚染された地域や神賀・

第2表 土壌中の重金属含有量(ppm).

No	Samples	Mn	Cu	Ni	Co	Zn	Pb	Cd
1	K(S)101	1097	6837	156	29	2620	63	19
2	K(S)102	1286	6008	122	29	2681	745	13
3	K(S)104	1465	9437	146	28	3620	851	21
4	K(S)105	1082	5812	133	37	2204	601	14
5	K(S)106	922	5085	113	28	1994	553	13
6	K(S)107	1133	4400	126	28	1825	575	13
7	K(S)108	909	3846	138	30	1748	531	11
8	K(S)109	1908	10450	257	56	3175	1110	23
9	K(S)110	1441	2048	141	31	1259	388	7
10	K(S)111	1115	4028	145	30	1626	520	8
11	K(S)114	1340	1375	155	34	725	250	8
12	K(S)115	1087	3393	173	35	1796	424	10
13	K(S)116	958	3469	114	19	1697	429	12
14	K(S)117	1045	3075	199	34	1500	467	9
15	K(S)118	1232	12000	192	41	4000	1132	22
16	K(S)119	1207	9412	139	25	3198	737	17
17	K(S)120	5475	3225	143	31	1050	360	15

第3表 オルホブ池 (Ol'hov) 近くの土壌断面における化学分析結果 (ppm).

No	Sapmls	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
1	8387/1	2474	8912	15950	116.5	64.50	68.8
2	8387/2	3045	11075	16350	67.7	70.25	52.5
3	8387/3	2362	8225	10500	100.0	41.25	55.5
4	8387/4	2337	10325	12150	276.5	52.00	58.3
5	8387/5	2012	7375	8650	141.5	36.75	51.0
6	8387/6	2199	8200	9600	61.5	42.00	53.3
7	8387/7	2612	8487	10400	215.2	46.00	47.5
8	8387/8	2799	7050	13050	139.7	57.25	63.0
9	8387/9	1487	6325	10500	120.2	45.75	61.0
10	8387/10	1645	7787	10700	109.0	49.25	38.8
11	8387/11	2499	10187	12550	97.0	61.00	49.5
12	8387/12	2037	7950	12400	94.0	56.50	61.5
13	8387/13	1687	6237	9200	117.7	44.25	90.5
14	8387/14	1812	5887	9000	67.2	44.50	59.5
15	8387/15	1149	3387	5650	54.8	29.75	34.5
16	8387/16	1737	6262	11550	65.0	58.25	54.8
17	8387/17	1862	7925	12950	86.3	62.25	56.5
18	8387/18	262	75302	1771	60.1	7.98	102.0
19	8387/19	1724	5612	10600	90.8	51.50	57.0

第4表 選鉱廃滓の重金属含有量 (ppm).

Samples	Mn	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd
K(T)7/1	125.0	5994.3	559.7	5000.0	485.8	5.7
K(T)7/2	144.7	3618.4	960.5	2697.4	289.5	3.0
K(T)7/3	151.9	2310.1	117.1	1202.5	278.5	<3.0
K(T)7/4	65.8	1854.3	1223.6	986.8	324.5	9.9
K(T)7/5	6.4	3557.7	2301.2	3429.5	176.3	3.2
K(T)7/6	48.1	801.3	554.5	1955.1	330.1	3.2
K(T)7/7	287.1	1096.8	354.8	5612.9	251.6	3.2
K(T)7/8	84.4	3052.0	269.5	1883.1	327.9	6.5
K(T)7/9	599.4	4789.2	954.8	3042.2	295.2	3.0
K(T)18/1	109.3	993.4	294.7	1291.4	513.2	6.6
K(T)18/2	70.0	1793.3	3546.6	1700.0	420.0	3.3
K(T)18/3	121.7	2167.8	700.7	1973.7	444.1	19.7
K(T)18/4	72.4	954.3	2519.6	751.6	751.6	6.5
K(T)18/5	98.7	2225.5	2454.2	2026.1	388.9	13.1
K(T)18/6A	155.6	1158.9	1933.7	1291.4	12.1	6.6
K(T)18/6E	214.3	162.3	334.4	681.8	120.1	<3.0
K(T)18/7	350.0	200.0	406.7	700.0	16.7	3.3
K(T)18/8	238.4	264.9	152.3	662.3	26.5	3.3
K(T)18/9	163.3	300.0	280.0	433.3	270.0	6.7

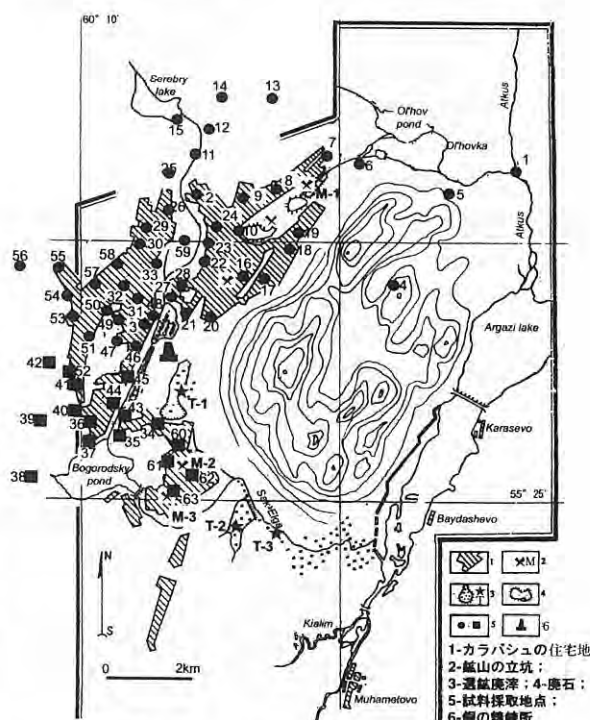
田切 (2003) による渡良瀬川河川堆積物と土壌中の Zn, Cu は 280ppm 以下で、カラバシュの数分の一から数十分の一以下である。さらに Pb も渡良瀬川では 85ppm 以下でカラバシュと比較すると同じく数十万分の 1 以下である。また、Cd に関してもカラバシュの土壌中の Cd は 7~23ppm、秋田県の Cd 汚染地域の土壌の最高値が 12.5ppm (Honma, 1981) であり、カラバシュで測定したほとんどの地点で、この値より高い値を示している。

カラバシュの北部に位置するオルホブ (Ol'hov) 池の近く (試料採取地点 8387: 第 8 図) で土壌断面 (深さ 130cm) を作成し、汚染がどのくらいの深さまで影響しているかを調べた。断面から深さごとに 19 試料を採取した。それらの重金属 (Mn・Cu・Zn・Pb・Cd・Ni) の含有量を第 3 表に示す。前述

の住宅地の土壌の重金属含有量と比較すると、ここでは Zn と Cd が特に多く、Ni と Pb がやや多くなっている。深さごとに見ると、いずれの金属も表層部では最下部に比較して多くなる特徴がある。しかし、その途中では明確な段階的変化は認められなかった。

### 4.3 選鉱廃滓

選鉱廃滓は前述したようにカラバシュの精錬所の南西から南部の 3 ヶ所に主として集められている (第 3 図)。試料を採取し、重金属 (Mn・Cu・Ni・Zn・Pb・Cd) の含有量を調べた (第 4 表)。3 ヶ所では、それぞれ約 1m 掘り下げ、深さごとに数個ずつ試料を採取した。いずれの場所でも深さごとに系統的变化は認められないが、Cu (200~5,994ppm) と Zn (277~5,612ppm) の含有量が多い。土壌中の重金属含有量と比較すると、Cu・Pb・Zn の量には大きな違いは認められない。Ni は選鉱廃滓中に土壌よりも一桁多く含まれている。逆に Mn は土壌の方が一桁多い。また、Cd も土壌 (7~23ppm) に比較して少ない (3~19.7ppm) 傾向が認められた。



第9図 カラバシュでの雪の試料採取地点。



第5表 2000年の冬にカラバシュに降った雪の化学分析および重金属含有量 (ppm) (精錬所の北部と南部に分けて表示)。

1. 住宅地の北部															
No	pH	Eh (mv)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn
K(A)1	6.10	238	12.20	1.06	6.80	-	1.90	0.29	0.33	0.01	0.82	0.97	0.20	0.01	0.01
K(A)2	5.90	259	12.20	1.06	34.50	3.94	4.18	0.71	0.68	0.10	1.77	18.00	0.25	0.03	0.03
K(A)3	6.24	216	12.20	1.13	44.30	3.45	5.68	0.47	0.60	0.32	0.37	18.94	0.21	0.05	0.08
K(A)4	5.05	234	10.37	1.52	16.72	3.94	2.33	0.47	0.53	-0.01	2.41	7.70	0.41	0.04	0.04
K(A)5	5.95	216	10.98	1.49	6.08	2.66	0.24	0.20	0.35	-0.01	0.94	1.77	0.14	0.02	0.02
K(A)6	5.65	221	12.20	1.59	9.68	3.85	0.96	0.48	0.50	-0.01	1.21	2.35	0.11	0.02	0.02
K(A)7	6.35	259	9.76	1.59	19.20	2.96	3.05	0.76	0.53	-0.01	0.05	11.83	0.22	0.05	0.04
K(A)8	6.33	223	10.37	1.24	11.33	1.48	1.44	0.25	0.40	-0.01	1.54	4.39	0.20	0.02	0.02
K(A)9	5.40	260	9.76	1.49	12.80	3.94	1.49	0.16	0.22	-0.01	1.98	5.11	0.35	0.03	0.03
K(A)10	5.61	224	9.15	1.84	22.70	2.96	3.59	0.73	1.32	-0.01	1.75	8.50	0.13	0.05	0.05
K(A)11	5.68	224	10.37	1.42	34.10	7.18	4.54	0.39	0.40	0.04	1.46	12.93	0.42	0.07	0.06
K(A)12	6.36	225	10.98	1.59	27.00	3.94	5.99	0.30	0.47	-0.01	1.56	10.87	0.22	0.05	0.05
K(A)13	6.52	228	6.10	1.59	11.00	1.48	1.32	-	-	0.09	1.68	3.22	0.22	0.02	0.02
K(A)14	6.04	235	7.32	1.49	22.00	3.06	1.79	-	-	0.41	3.00	6.82	0.32	0.04	0.04
K(A)15	5.38	232	10.37	1.06	32.00	4.93	4.18	0.50	0.40	0.07	2.53	13.84	0.50	0.05	0.05
K(A)16	6.03	203	7.32	1.49	17.00	5.92	2.39	0.69	0.48	-0.01	3.89	8.24	0.03	0.01	0.03
K(A)17	6.16	229	10.98	1.49	33.30	3.94	4.82	0.29	0.95	0.24	2.23	6.84	0.42	0.04	0.06
K(A)18	5.46	231	9.76	1.29	17.00	6.90	1.19	0.34	0.87	-0.01	2.09	9.11	0.03	0.03	0.03
K(A)19	6.01	227	12.20	1.77	17.20	1.28	1.67	-	-	0.15	2.38	5.39	0.24	0.03	0.03
K(A)20	5.99	214	11.59	1.35	32.00	5.92	4.24	0.51	0.49	0.03	0.79	12.08	0.21	0.05	0.06
K(A)21	6.51	200	9.15	1.31	7.95	2.96	2.09	0.19	0.29	0.18	0.24	3.96	0.33	0.03	0.02
K(A)22	5.85	216	10.98	1.21	24.70	-	-	0.33	0.41	0.07	0.87	5.07	0.23	0.04	0.04
K(A)23	5.83	215	9.76	1.52	27.00	8.38	2.15	0.70	0.45	0.06	1.18	11.43	0.49	0.06	0.05
K(A)24	6.52	177	10.98	3.37	35.50	7.89	2.99	1.04	2.26	0.17	0.98	6.11	0.24	0.05	0.07
K(A)25	6.44	223	10.98	1.95	20.00	7.89	1.89	0.49	0.54	0.11	1.38	7.20	0.31	0.06	0.05
K(A)26	6.63	211	12.20	1.99	48.10	7.89	2.39	0.87	0.95	0.16	0.11	8.14	0.31	0.06	0.07
K(A)27	6.41	171	10.98	1.42	64.00	12.82	7.17	0.69	0.50	0.10	0.45	16.07	0.20	0.10	0.13
K(A)28	6.52	213	8.54	2.48	78.80	9.87	10.22	-	-	0.07	0.93	12.89	0.10	0.09	0.17
K(A)29	6.33	228	10.98	1.70	30.30	5.92	3.59	0.29	0.38	0.05	1.50	9.17	0.31	0.05	0.04
K(A)30	6.47	219	10.98	1.06	29.60	3.94	1.85	0.29	0.56	0.15	1.02	4.48	0.20	0.04	0.03
K(A)31	6.41	221	10.98	1.81	32.90	8.38	2.15	0.27	0.35	0.27	1.03	6.47	0.30	0.06	0.04
K(A)32	6.29	216	7.93	1.77	21.30	2.96	2.45	-	-	0.08	1.25	10.34	0.12	0.03	0.03
K(A)33	6.27	206	7.93	1.77	55.17	9.86	6.58	-	-	0.06	1.22	15.11	0.10	0.09	0.09
K(A)34	6.55	219	9.76	1.87	59.00	8.87	8.96	0.35	0.48	0.14	0.47	8.24	0.96	0.06	0.08
K(A)35	6.32	185	7.32	0.76	24.10	5.90	0.46	0.59	0.55	-0.01	0.47	7.01	0.05	0.02	0.04
K(A)36	6.31	177	14.64	1.31	16.10	4.73	1.43	0.75	0.49	0.01	0.44	1.19	0.08	0.02	0.03
K(A)37	6.58	219	11.59	1.70	17.50	2.96	1.79	0.31	0.58	0.14	0.90	4.18	0.16	0.03	0.02
K(A)38	6.37	177	10.98	1.59	11.40	3.85	0.84	0.07	0.17	0.08	0.47	3.63	0.17	0.01	0.05
K(A)39	6.31	177	7.32	1.24	14.40	3.16	1.08	0.07	0.23	0.08	0.52	9.11	0.14	0.03	0.01
K(A)40	6.36	185	7.32	0.82	8.90	2.59	1.55	0.22	0.23	-0.01	0.52	2.48	0.04	0.01	0.02
K(A)41	6.41	187	9.76	1.28	13.00	5.13	1.08	0.16	0.14	0.05	0.60	6.38	0.15	0.03	0.01
K(A)42	6.02	227	6.10	1.52	32.40	7.00	1.90	0.49	0.25	0.01	1.69	7.27	0.10	0.04	0.04
K(A)43	6.26	185	9.15	1.59	59.00	11.83	4.18	0.72	0.90	0.21	0.83	12.04	0.21	0.08	0.06
Median	3.07	215.163	10.06	1.52	26.88	5.30	2.84	0.44	0.55	0.09	1.19	8.14	0.24	0.04	0.04

2. 住宅地の南部															
No	pH	Eh (mv)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn
K(A)44	6.51	166	9.15	1.31	4.37	1.48	1.49	0.23	0.31	0.10	0.23	2.13	0.20	0.01	0.06
K(A)45	6.47	171	8.54	4.51	9.00	-	-	1.38	3.25	0.01	0.33	1.49	0.01	0.01	0.02
K(A)46	6.35	197	7.32	1.42	7.89	-	-	0.20	0.23	-0.01	0.17	2.85	0.05	0.01	0.01
K(A)47	6.64	210	9.76	1.95	6.50	1.48	0.89	0.18	0.19	0.33	0.40	1.68	0.13	0.01	0.02
K(A)48	6.05	208	6.10	1.24	3.74	0.99	0.72	0.60	0.48	0.01	0.19	0.37	0.04	0.00	-0.01
K(A)49	6.17	207	6.71	0.71	6.31	2.07	0.54	0.16	0.20	-0.01	0.52	1.38	0.06	0.01	0.01
K(A)50	6.60	197	9.76	2.87	9.00	1.88	0.12	1.17	1.15	0.14	0.35	2.33	0.07	0.01	0.02
K(A)51	6.48	170	12.20	1.24	11.50	2.17	1.97	0.10	0.16	0.11	0.36	5.19	0.15	0.02	0.04
K(A)52	6.61	203	9.76	1.77	7.10	1.97	0.32	0.36	0.17	0.20	3.18	0.22	0.03	0.04	
K(A)53	6.43	174	10.98	1.59	17.60	3.85	2.33	0.71	0.75	0.01	0.35	4.27	0.04	0.01	0.02
K(A)54	6.42	174	10.98	0.89	20.00	2.96	2.45	0.30	0.26	-0.01	0.13	6.08	0.04	0.03	0.03
K(A)55	6.39	166	10.98	1.06	10.11	6.01	3.41	0.28	0.28	0.09	0.31	9.83	0.20	0.02	0.02
K(A)56	6.39	180	7.32	1.42	13.00	3.75	0.78	0.62	0.11	0.08	0.48	5.17	0.21	0.03	0.01
K(A)57	6.39	172	7.32	1.59	7.84	2.96	0.59	0.13	0.49	0.14	0.32	2.35	0.08	0.01	0.05
K(A)58	6.03	225	10.37	1.49	4.65	-	-	1.19	0.06	0.16	0.07	0.24	0.95	0.09	0.00
K(A)59	6.61	204	11.59	1.48	9.10	0.99	1.99	0.21	0.26	0.12	0.25	2.14	0.07	0.01	0.02
K(A)60	6.29	208	8.54	3.01	6.50	0.99	1.19	1.39	0.90	0.47	0.22	1.12	0.06	0.00	0.02



写真7 煤を採取した精錬所の煙突。

第6表 煙突の煤の銅・鉛・亜鉛・砒素の分析値 (ppm)。

	Cu	Zn	Pb	As
煙突1	69,600	19,800	39,000	9,820
煙突2	125,000	47,600	4,600	32,000
煙突3	153,000	93,500	26,400	74,000
煙突4	47,500	145,000	12,000	37,000

心に採取した。第5表には精錬所から北部の採取地点と南部の採取地点に分けて示した。年間を通して風は南-西-北風で、特に西から東へ吹いている日が多く、冬には一般に南-西が多い傾向にある。

第5表に示すようにpHは、ほとんどが6.0~6.5であるが、5.0~5.95の低い値を示す場所が認められる。特に最も低い値を示したのは、カラバシュ山の頂上から採取した試料で、5.02を示した。また、pHが5~6の間の値を示すのは、すべて精錬所から北2km以上離れた地点より採取したものである。一方、精錬所の南部より採取した試料はすべて6以上であった。

測定した重金属 (Fe・Cu・Zn・Pb・Cd・Mn)のうち、CuとZnの含有量が大きい。また、試料採取地点のうち、第5表に示すように、北部と南部を比較すると精錬所から北部の試料中にCuやZnの含有量が多い地点がある。

これらのことは、煙突からの煤煙の主とした降下地点を示していると考えられる。このように重金属が煤煙により広範囲に飛散していることがわかり、これが土壤汚染の主とした要因と考えられる。

#### 4.5 煙突内の煤

精錬所の煙突は5本あり(写真7)、そのうち4本の煙突内部(煙突内部、高さ20m付近)から煤を採取し、構成物質、重金属 (Cu・Zn・Pb・As)の測

選鉱廃滓中では肉眼で黄鉄鉱が十分鑑定できる。しかし、土壌中には肉眼はもとより、光学顕微鏡や実体顕微鏡などでも黄鉄鉱などの鉱物を認めることはできなかった。選鉱廃滓は細粒化した鉱石の残りであることを考えると、土壌の重金属汚染が著しく進んでいることを示している。

#### 4.4 降雪

カラバシュで2000年冬に降った雪のpH及び (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>・Cl<sup>-</sup>・SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>・Ca・Mg・K・Na)と重金属 (Fe・Cu・Zn・Pb・Cd・Mn)の含有量を測定した(第5表)。試料採取地点は第9図に示す。第9図に示すようにこれらの試料は主として住宅地の中

第7表 カラバシュの町の住宅地周辺の畑で栽培されている野菜中に含まれるCu・Zn・Pbの含有量(ppm).

タマネギ				ジャガイモ			
No.	Cu	Zn	Pb	No.	Cu	Zn	Pb
2-3	12.4	176.1	1.9	1-6	4,015.0	87.1	4.8
7-3	9.0	129.0	3.3	4-6	160.6	153.8	27.4
14-3	4.1	41.3	0.7	5-6	31.2	62.5	5.7
16-3	5.5	71.8	<0.5	15-6	100.9	117.4	13.7
17-3	5.5	79.8	2.1	17-6	34.3	53.3	5.9
median	7.3	99.6	2.0	22-6	7.7	32.6	0.9
range	4.12-12.44	41.25-176.1	0.5-3.28	23-6	9.4	19.3	2.1
				24-6	22.8	68.0	5.6
				25-6	14.2	76.6	3.4
				median	46.8	74.5	7.7
				range	7.74-160.61	9.34-153.8	0.86-27.4

パセリ				ニンジン			
No.	Cu	Zn	Pb	No.	Cu	Zn	Pb
3-4	650.5	1,280.0	330.0	5-7	65.8	65.3	17.7
8-4	332.5	815.0	197.5	8-7	60.9	125.1	13.4
10-4	1,173.3	1,683.2	478.7	11-7	53.8	178.3	9.5
11-4	1,840.8	3,209.6	589.5	15-7	92.0	118.5	16.1
20-4	205.0	1,500.0	60.6	17-7	28.4	45.0	4.0
median	840.4	1,697.6	331.3	22-7	11.3	44.2	2.4
range	205-1,840.8	815-3,209.6	60.55-589.5	23-7	11.2	31.2	1.7
				median	46.2	86.8	8.4
				range	11.24-92	31.19-178.3	1.66-16.1

定を行った。化学分析結果を第6表に示す。煙突1～3試料は黒色であるが、煙突4の試料は白色となっている。煙突1～3では赤鉄鉱・黄銅鉱・黄鉄鉱・石膏、煙突4では硫酸鉛鉱・閃亜鉛鉱が主な構成物質である。

それぞれの重金属(Cu・Zn・Pb・As)含有量はいずれも数%以上あり、構成鉱物に含まれる重金属の含有量に対応している。

#### 4.6 野菜中の重金属含有量

カラバシュの町の住宅地周辺の畑で栽培されている野菜(タマネギ・パセリ・ジャガイモ・ニンジン)中の重金属(Cu・Zn・Pb)含有量を測定した。その結果を第7表に示す。また、比較のためガラバシュから約45km南に位置する畑で栽培されているタマネギ・パセリ・ジャガイモ・ニンジンに含まれている重金属含有量を第8表に示す。

第7表に見られるように、いずれの野菜にも非常に高い濃度(数十～数千ppm)のCu・Zn・Pbが含有されている。非汚染地域の含有量(第8表)と比較すると、いずれの野菜も十倍から数百倍高い重

第8表 非汚染地域の畑で栽培されている野菜中に含まれるCu・Zn・Pbの含有量(ppm).

野菜	Cu	Zn	Pb
タマネギ	1.2	4.4	0.1
パセリ	21.5	48.3	1.9
ジャガイモ	2.2	4.1	0.1
ニンジン	2.4	5.1	0.1

金属濃度値を示した。特にパセリにはいずれの金属も他の野菜より極端に高い値であった。

#### 5. おわりに

カラバシュの町の旧鉱山と銅の精錬所から排出される、廃石・選鉱廃滓・煤煙による汚染の実態を報告した。その被害は広範囲にわたっている。我が国の環境基準を遙かに越え高濃度である。今後この鉱害被害の拡大と進行をくい止めるとともに、自然の回復に世界が協力して取り組んでゆくことが急務であろう。

#### 参考文献

Honma, S. (1981) : The Yoneshiro river basin: soil pollution by heavy metals discharged from various mines. Heavy metal pollution in soils of Japan, Kitagishi, K. and Yamane, I. Ed., Japan Scientific Society Press, Tokyo, 137-148.

神賀 誠・田切美智雄(2003) : 渡良瀬川流域および富田川流域の河川堆積物と土壌の汚染の現状-足尾銅山と日立鉱山の閉山後の汚染レベル. 地質雑, 109, 533-547.

北野 康(1995) : 新版水の科学, NHKブックス, 58-59.

Morishita, T. (1981) : The Watarase river basin: Contamination of the environment with copper discharged from Ashio mine. Heavy metal pollution in soils of Japan, Kitagishi, K. and Yamane, I. Ed., Japan Scientific Society Press, Tokyo, 165-179.

Rakcheer, A.D. (1977) : Geology and structure of Karabash group, Massive sulfide deposits in Urals, Bull. Moscow Soc. Nat. Inv. Geol. Branch, Vol.52, No.4 (in Russian).

理科年表(2002) : 国立天文台編, 605p.

KITAGAWA Ryuji, UDACHIN Varely, JIGE Mayumi and SUGAWARA Shinichi (2003) : Heavy metal pollution around the Karabash mine in South Ural district, Russia.

<受付: 2003年3月1日>