

### 第 3 章 地化学調査

## 第3章 地化学調査

地化学調査は土壌調査およびワジ堆積物調査からなり、銅製錬所からの降下ばいじんおよび廃さい堆積場からの塩分漏洩による土壌汚染を把握することを目的とする。

### 3.1 土壌

#### 3.1.1 土壌採取地点の選定

土壌調査は銅製錬所からの降下ばいじん等による土壌汚染を把握することにある。調査地域の土壌は段丘面、沖積段丘面、沖積層および基岩風化面上に小規模に分布しているが、採取可能な量ならびに安定した土壌を有する箇所は段丘面上に限られる。したがって、土壌試料採取地点として平坦な安定した段丘面上を選定した。また、採取地点は製錬所から 500m、1km、2km および 3km の距離においてランダムに選定した。

地化学調査用土壌試料数は 31 件であり、試料採取地点を図 3.1 に示す。

#### 3.1.2 土壌採取および前処理

土壌採取にあたり、表層の礫を除き、地表面から深度 0～5cm まで掘削し、細粒分を採取した。しかし、いずれの採取地点においても土壌の発達は殆ど認められなかった。

土壌の分析の前処理は、風乾後 50 メッシュで篩分けし、篩下 (50 メッシュ・アソダ-) を含有量分析用試料とした。

分析成分は Hg、Cd、Cr、As、Pb、Cu、Mn、Fe、Ni、Sn、Zn、SO<sub>4</sub> および Cl の 13 成分である。

#### 3.1.3 分析結果

地化学調査の土壌分析結果を表 3.1 に示す。また、各成分別の濃度分布を図 3.2(1)～(3) (添付資料 - 1) に示す。

Hg の濃度は 0.04～0.20 mg/kg で変化が少ないが、南東側 1～2km の間および北側 2 km に 0.2 mg/kg のピークが認められる。ただし、東北東 - 西南西方向は低濃度になっている。

Cd の濃度は 0.01～24 mg/kg であり、方向でほぼ平均的に分布しているが、相対的に高い濃度は工場縁辺および 2 km 以上離れた地点である。

Cr の濃度は 70～560 mg/kg であり、南～南西方向で 1 km の距離に顕著なピークが認められる。また、北東側へは低濃度帯が 3km 以遠に伸びており、3 km 以遠に高濃度が分布する可能性がある。

As の濃度は 4～16 mg/kg の範囲であり、0.5～1.5 km 範囲内は比較的濃度が高い。また、北方向 1.5 km の距離にピークが認められるが、おそらく廃さい堆積場の影響と推定される。

Pb の濃度は 5～735 mg/kg と広い範囲に亘るが、高濃度が工場の西方向 0.5～2.3 km 間および

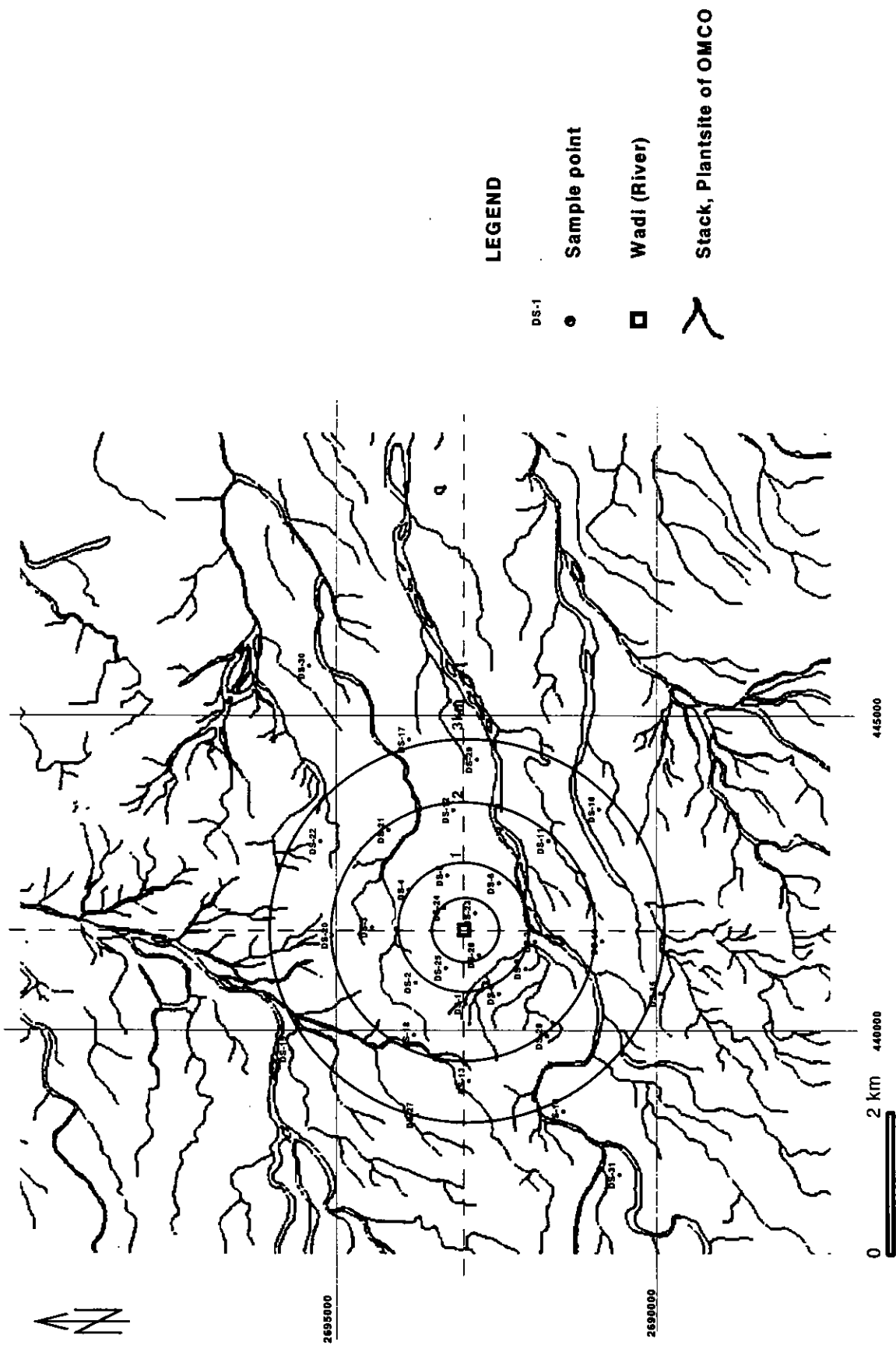


图 3.1 地化学调查用土壤試料採取地点

表 3.1 地化学調査の土壌分析結果

Sample Number	Coordinates		Hg	Cd	Cr	As	Pb	Cu	Mn	Fe	Ni	Sn	Zn	SO <sub>4</sub>	Cl
	Northing	Easting													
DS-1	2688025	440475	0.10	4	350	14	285	14,750	9,350	39,900	16,250	350	750	2,100	490
DS-2	2688775	440800	0.05	4	455	9	10	1,170	10,800	43,700	17,750	350	150	900	360
DS-3	2689430	441650	0.15	4	320	16	10	865	8,350	26,000	14,000	400	110	3,900	580
DS-4	2688880	442230	0.10	4	150	6	200	940	11,300	50,000	3,900	500	125	2,000	340
DS-5	2688300	442450	0.10	9	90	9	65	2,675	10,100	45,400	950	200	220	600	190
DS-6	2687525	442330	0.15	9	410	12	45	750	9,300	35,100	18,100	250	220	900	250
DS-7	2686975	441430	0.15	8	430	13	35	645	9,400	23,000	20,800	250	85	160	210
DS-8	2687125	441010	0.15	8	430	9	40	255	9,650	39,300	19,950	300	10	630	180
DS-9	2687525	440625	0.05	14	500	11	320	6,050	9,850	26,400	1,400	100	235	950	200
DS-10	2685975	441435	0.20	14	280	9	25	510	9,750	29,200	630	100	270	460	140
DS-11	2686780	442985	0.20	13	375	10	255	550	9,650	25,000	16,700	100	45	610	190
DS-12	2688210	443460	0.15	14	245	7	20	760	7,300	25,100	9,550	100	30	850	170
DS-13	2687975	439300	0.05	14	300	6	485	900	8,500	21,800	10,000	200	35	930	130
DS-14	2686560	438830	0.15	13	380	9	20	330	8,900	25,600	16,050	100	20	800	140
DS-15	2685100	440635	0.15	18	270	11	295	255	7,850	19,700	13,600	200	55	680	150
DS-16	2686020	443475	0.05	19	245	7	10	435	8,700	31,500	8,150	200	225	510	170
DS-17	2688870	444550	0.05	19	300	9	185	485	9,200	31,200	10,150	200	40	500	190
DS-18	2688800	440000	0.05	14	510	15	30	1,320	9,500	31,300	16,850	250	100	690	180
DS-19	2690650	439780	0.20	19	560	14	305	425	11,750	42,500	24,650	600	20	140	170
DS-20	2690025	441525	0.20	19	160	15	735	340	9,300	41,800	2,900	300	65	120	220
DS-21	2689180	443150	0.10	24	115	11	45	865	13,900	38,700	1,600	400	70	420	150
DS-22	2690200	442980	0.15	19	270	12	655	1,180	7,600	24,200	13,000	100	60	1,530	170
DS-23	2687875	441870	0.10	23	135	12	65	9,550	7,500	69,400	1,550	100	660	1,160	120
DS-24	2688350	441950	0.15	24	145	13	50	4,700	12,450	48,300	1,750	150	155	880	180
DS-25	2688325	441025	0.05	23	155	10	495	4,150	10,850	43,700	1,400	150	550	1,150	140
DS-26	2687820	441220	0.15	23	115	11	455	5,575	11,350	65,200	200	150	500	2,140	100
DS-27	2688750	438775	0.05	23	375	14	60	880	8,000	23,100	18,750	150	25	1,110	150
DS-28	2686800	439980	0.10	24	330	11	270	750	8,900	27,500	10,550	300	35	950	110
DS-29	2687850	444240	0.05	23	340	16	5	510	8,600	22,900	12,900	300	45	920	120
DS-30	2690370	455685	0.04	<0.01	70	4	75	671	537	25,533	733	90	93	544	184
DS-31	2685720	437870	0.05	<0.01	70	4	80	194	551	29,645	1,085	60	66	427	150

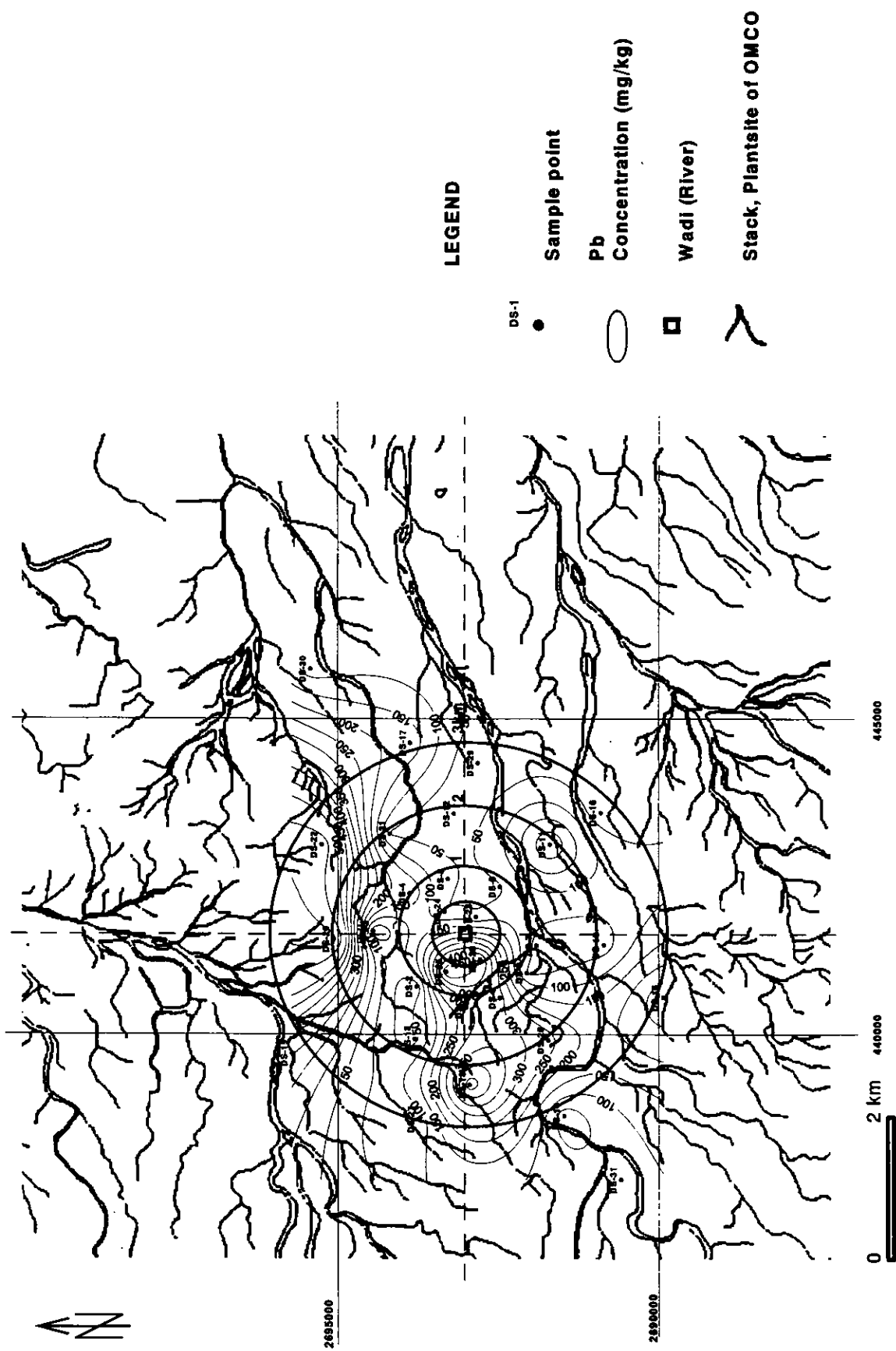


图 3.2 土壤成分別濃度分布图 (1)

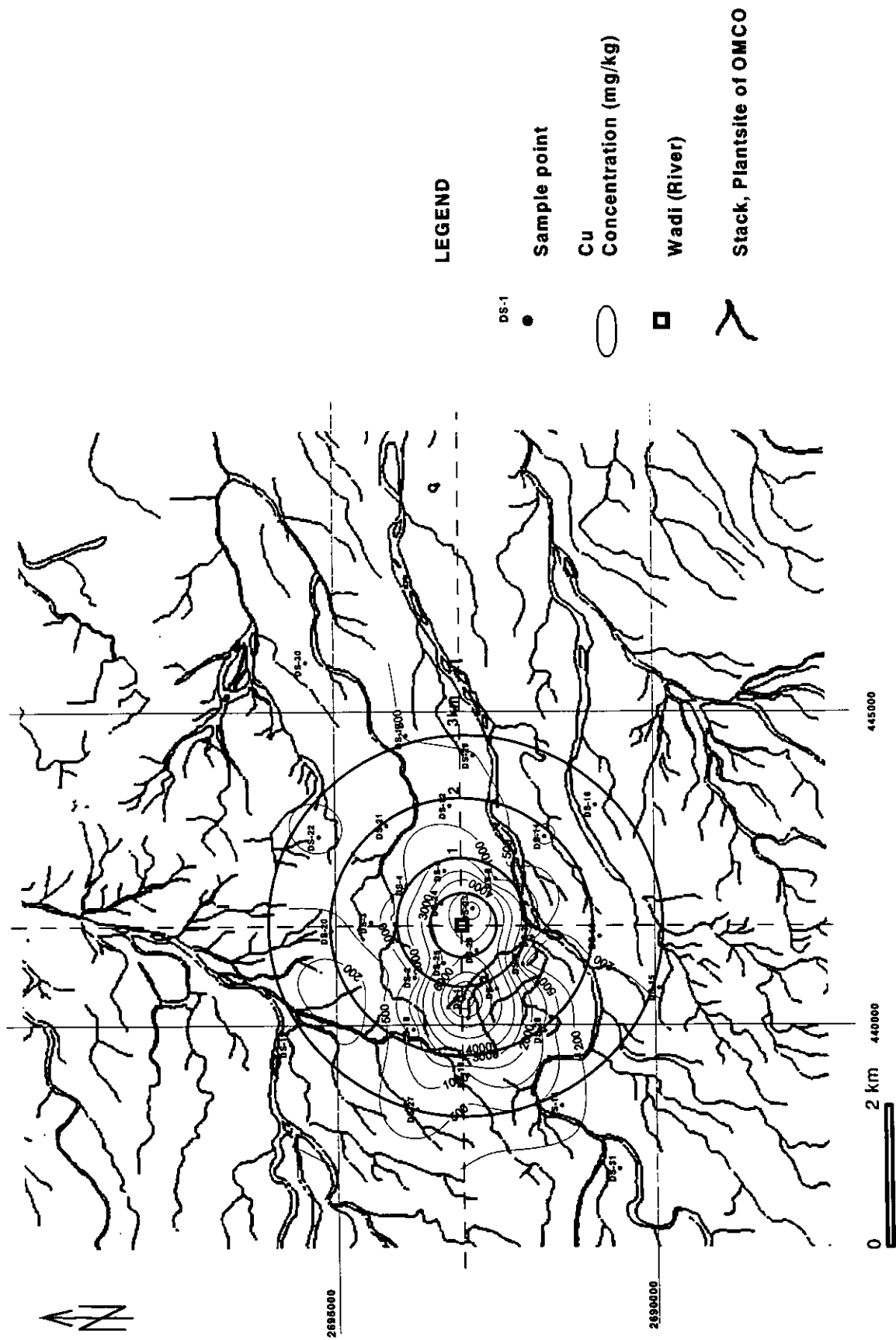


图 3.2 土壤成分別濃度分布图 (2)

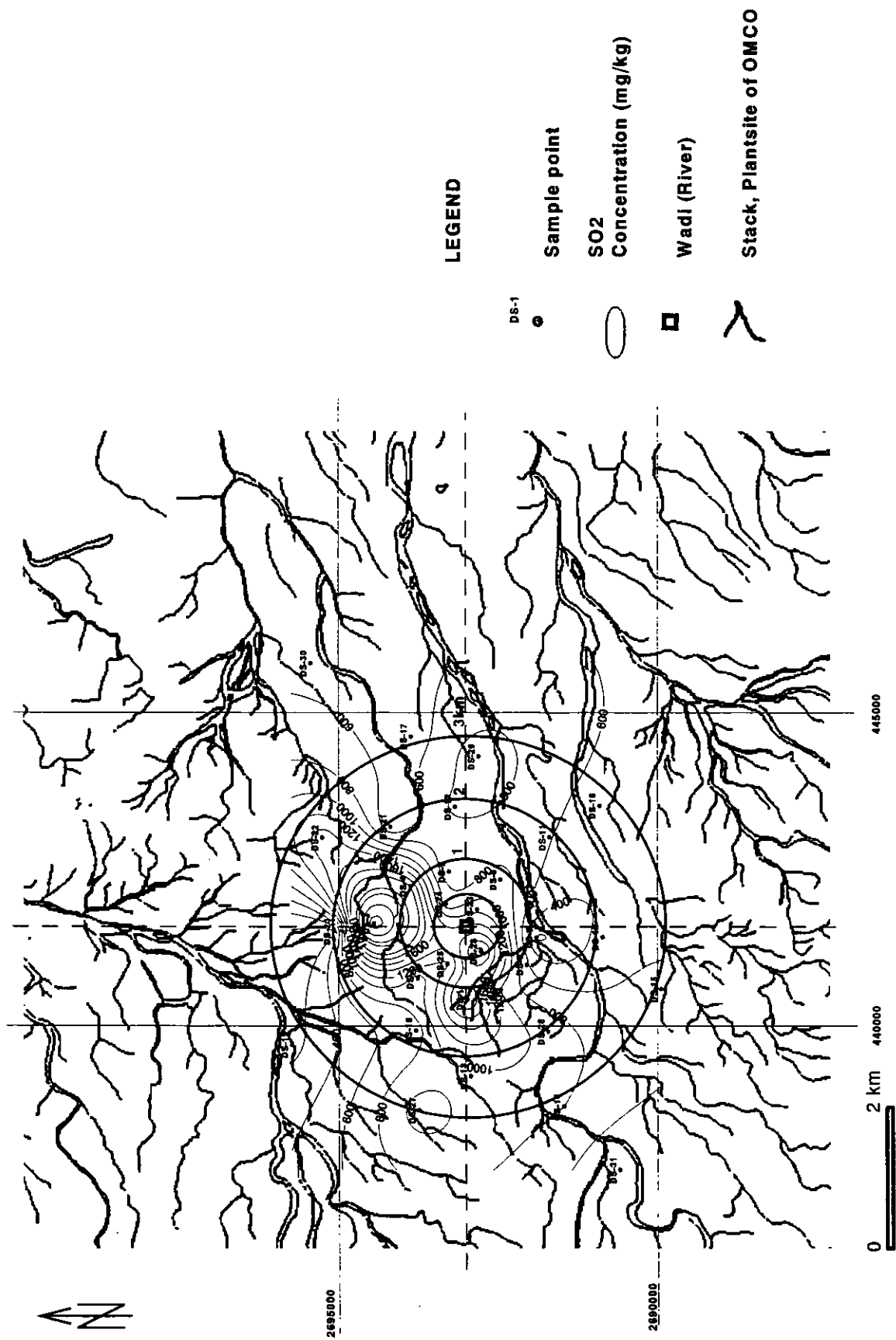


图 3.2 土壤成分浓度分布图 (3)

北方向に 1.5 km 以遠の 2 区域に認められる。北方向のピークはおそらく廃さい堆積場の影響と推定される。

Cu の濃度は 194~14,750 mg/kg と広いレンジに亘り、四方に分布しているが、特に西方向には高濃度のピークが分布している。

Mn の濃度は 537~13,900 mg/kg とバックグラウンドとしてもきわめて高い濃度である。全体に平均化しているが、東北東方向 2 km 地点にピークが認められる。

Fe の濃度は 19,700~69,400 mg/kg と高濃度であるが、全方向に拡散されており、特に北東方向にピークが伸張している。

Ni の濃度は 200~24,650 mg/kg と広いレンジに亘っており、高濃度帯が東南東 - 西南西方向に伸張している。

Sn の濃度は 60~600 mg/kg とほぼ平均化している。

Zn の濃度は 10~750 mg/kg と広いレンジに亘っており、全方向に拡散され、特に相対的高濃度帯が東 - 西方向に伸張している。

SO<sub>4</sub> の濃度は 120~3,900 mg/kg と広いレンジに亘っており、高濃度帯が北部および中央部に分布する。中央部は東 - 西方向に伸張しているが、北部は廃さい堆積場の影響と推定される。

Cl の濃度は 100~580 mg/kg と低濃度であるが、廃さい堆積場周辺が高くなっている。

段丘面上に位置する土壌の分析結果から、製錬工場（煙突）の排ガス起源と推定される現象が Cd、Pb、Cu、Fe、Zn および SO<sub>4</sub> に認められ、いずれも工場を中心に拡散しており、その一部は 3 km を越えて拡散していると推定される。また、廃さい堆積場からは後述するが、Pb、Fe、Ni、SO<sub>4</sub> および Cl の異常が認められ、堆積場からの飛散による影響が明瞭である。

## 3.2 土壌中の塩分濃度

廃さい堆積場からの塩分の漏洩を把握する目的で、廃さい堆積場周辺に分布する河川沿いのワジ堆積物あるいは沖積土壌を採取し、土壌中の塩分を分析した。

### 3.2.1 土壌採取地点の選定

廃さい堆積場からの塩分の漏洩を把握するために、採取地点をワジに限定した。廃さい堆積場の周辺に分布する大小の全ての谷を選定し、特にワジ・スーク川については汚染拡散状況およびバックグラウンドの把握のため下流側まで採取地点を延長した。また、バックグラウンドの把握のため、ワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川の上流側でも試料採取した。

ワジ堆積物あるいは土壌の採取にあたり、細粒物質を多く含む箇所を特に選定した。

塩分濃度用土壌試料数は 102 件であり、試料採取地点を図 3.3 に示す。



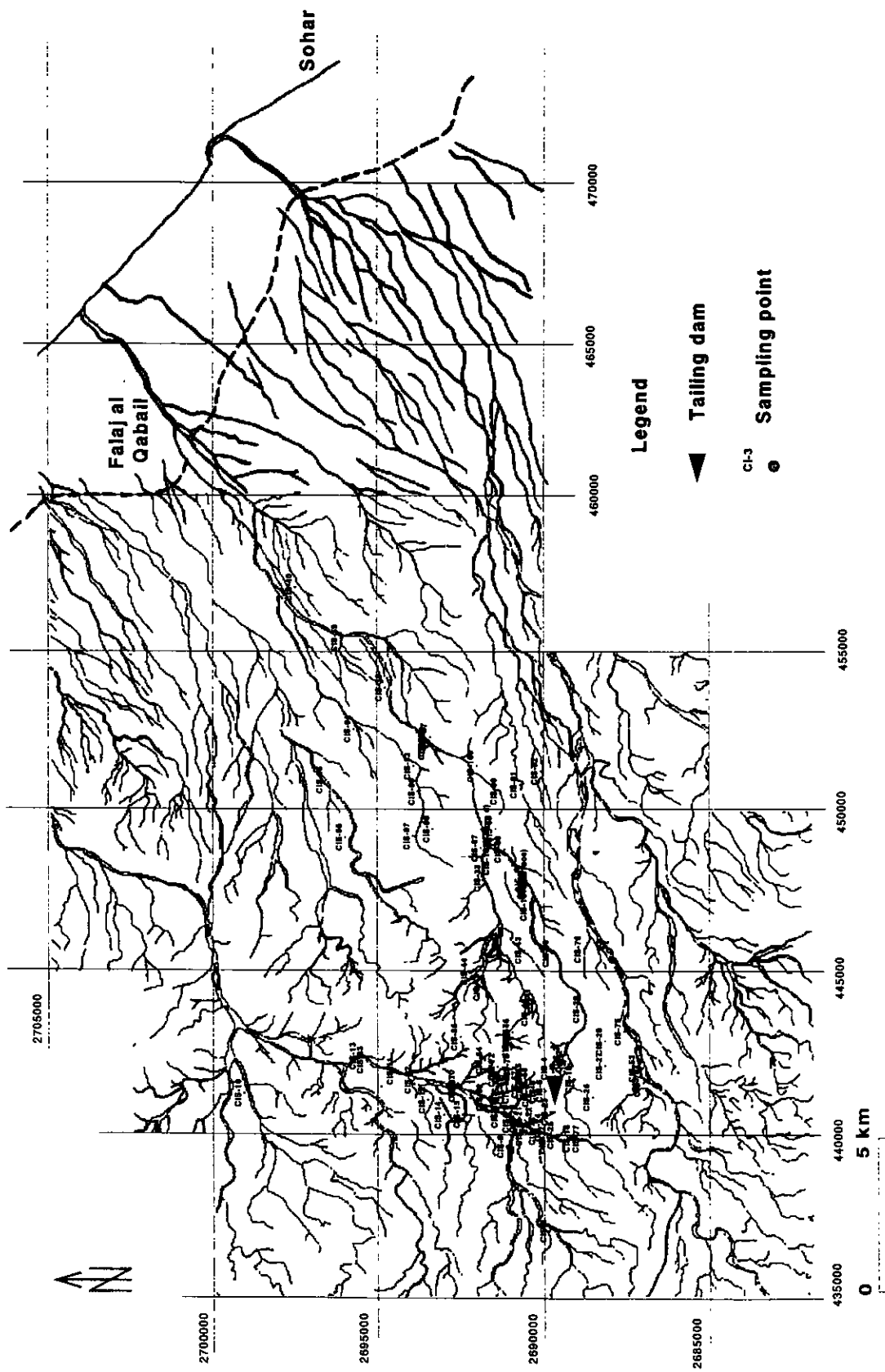


图 3.3 盐分浓度用土壤试料採取地点

### 3.2.2 土壌採取および前処理

土壌採取にあたり、表層の礫を除き、地表面から深度 0～10 cm まで掘削し、細粒分を採取した。

土壌の分析の前処理は、風乾後 50 メッシュで篩分けし、篩下 (50 メッシュ・アンダー) を含有量分析用試料とした。分析成分は C1 の 1 成分である。

### 3.2.3 分析結果

地化学調査の土壌分析結果を表 3.2 に示す。また、濃度分布を図 3.4(1)～(2)に示す。図 3.4 (2) は拡大図である。

C1 の濃度範囲は 106～146,500 mg/kg で極めて広いレンジに亘っている。C1 の低濃度範囲は 106～180 mg/kg であり、調査地域のバックグラウンドであると考えられ、土壌調査における C1 濃度範囲とも一致する。5,000 mg/kg を超える区域は廃さい堆積場の下流部、14 km 地点 (Sagha 部落) の上流側 (OMCO - PS-2 地点) およびワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川のアージャ部落の上流部に限定される。

廃さい堆積場の下流部は、堆積場からの浸出水があり、高濃度となっている。

14 km 地点 (Sagha 部落) の上流側は OMCO の海水用の揚水機場 (PS-2) が設置され、操業中海水の漏水があったところである。

アージャ部落の上流部は廃さい堆積場の北西側にあたり、採取地点 (C1S-20) の標高は 230 m である。C1 濃度は下流側のベイダ部落まで影響しているように推定される。C1S-20 地点は廃さい堆積場からの断層が推定されていることから断層に沿う漏水、さらに堆積場内の地下水位が標高約 233 m であることから湧水箇所であることが強く示唆される (図 3.5)。

廃さい堆積場の裏側 (北側) への廃水の漏洩は、主に DH-11 孔設置箇所付近からと推定され、下流側のベイダ部落まで影響している。廃さい堆積場からワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川に沿ってアージャ、ベイダ部落までの距離と土壌中の塩分濃度の関連を図 3.6 に示す。

表 3.2 塩分濃度用土壌分析結果

Sample NO.	Coordinates		Cl	Sample No.	Coordinates		Cl
	Northing	Easting	mg/kg		Northing	Easting	mg/kg
CIS-1	2689200	442075	200	CIS-52	2687055	441660	220
CIS-2	2689300	442170	390	CIS-53	2687150	441960	250
CIS-3	2689375	442275	280	CIS-54	2690427	447520	410
CIS-4	2689730	441950	210	CIS-55	2690408	447526	8,450
CIS-5	2689875	441280	250	CIS-56	2690387	447542	55,500
CIS-6	2690075	441250	130	CIS-57	2690367	447536	143,000
CIS-7	2690290	441130	120	CIS-58	2690347	447540	61,300
CIS-8	2689770	437080	140	CIS-59	2690357	447520	5,850
CIS-9	2691030	439600	180	CIS-60	2690357	447520	25,000
CIS-10	2698870	441200	160	CIS-61	2690357	447520	25,000
CIS-11	2694315	441875	330	CIS-62	2691650	441080	187
CIS-12	2693370	441000	140	CIS-63	2691215	440825	157
CIS-13	2695425	442325	130	CIS-64	2691175	441350	167
CIS-14	2692890	440550	200	CIS-65	2690500	441700	138
CIS-15	2692340	440570	300	CIS-66	2690325	441575	148
CIS-16	2690485	440030	240	CIS-67	2690600	441470	587
CIS-17	2689800	439800	170	CIS-68	2690490	441425	167
CIS-18	2689090	439850	190	CIS-69	2691030	441290	167
CIS-19	2689025	441620	20,120	CIS-70	2692490	441500	3,415
CIS-20	2690675	440430	6,260	CIS-71	2691280	441810	502
CIS-21	2690500	440400	280	CIS-72	2691290	442000	207
CIS-22	2690200	440380	170	CIS-73	2690840	441990	443
CIS-23	2689725	440650	170	CIS-74	2687000	441510	246
CIS-24	2689920	440180	190	CIS-75	2687555	443070	266
CIS-25	2689550	439950	210	CIS-76	2688750	445575	344
CIS-26	2688500	441080	280	CIS-77	2688825	439840	197
CIS-27	2688125	442030	240	CIS-78	2690100	440070	266
CIS-28	2688120	442770	330	CIS-79	2690870	440425	3,415
CIS-29	2688800	443750	190	CIS-80	2691200	440585	6,653
CIS-30	2689675	445450	300	CIS-81	2692475	441360	276
CIS-31	2690330	447540	2,660	CIS-82	2693780	441605	404
CIS-32	2691425	448925	200	CIS-83	2695200	442205	394
CIS-33	2691700	447750	190	CIS-84	2691660	442200	650
CIS-34	2693350	451775	150	CIS-85	2690875	441305	266
CIS-35	2693350	451875	180	CIS-86	2692400	442905	157
CIS-36	2693325	451980	200	CIS-87	2691780	448675	472
CIS-37	2693285	452075	150	CIS-88	2691080	448630	325
CIS-38	2694630	453575	190	CIS-89	2691340	449250	266
CIS-39	2695950	455090	280	CIS-90	2691200	450410	246
CIS-40	2697320	456630	280	CIS-91	2690620	450600	285
CIS-41	2690225	443970	200	CIS-92	2690000	451020	207
CIS-42	2690310	443650	260	CIS-93	2693770	451180	106
CIS-43	2690500	445540	290	CIS-94	2695565	452310	177
CIS-44	2692100	444900	150	CIS-95	2696410	450750	142
CIS-45	2691730	444415	190	CIS-96	2695820	449000	248
CIS-46	2690855	443050	180	CIS-97	2693800	449030	248
CIS-47	2690860	442890	190	CIS-98	2693210	449250	780
CIS-48	2690870	442675	200	CIS-99	2693650	450400	248
CIS-49	2690487	447740	3,190	CIS-100	2691900	451175	355
CIS-50	2690430	447660	1,150	CIS-101 (surface)	2690330	447540	146,500
CIS-51	2690390	447580	47,000	CIS-102 (20cm d)	2691425	448925	14,050

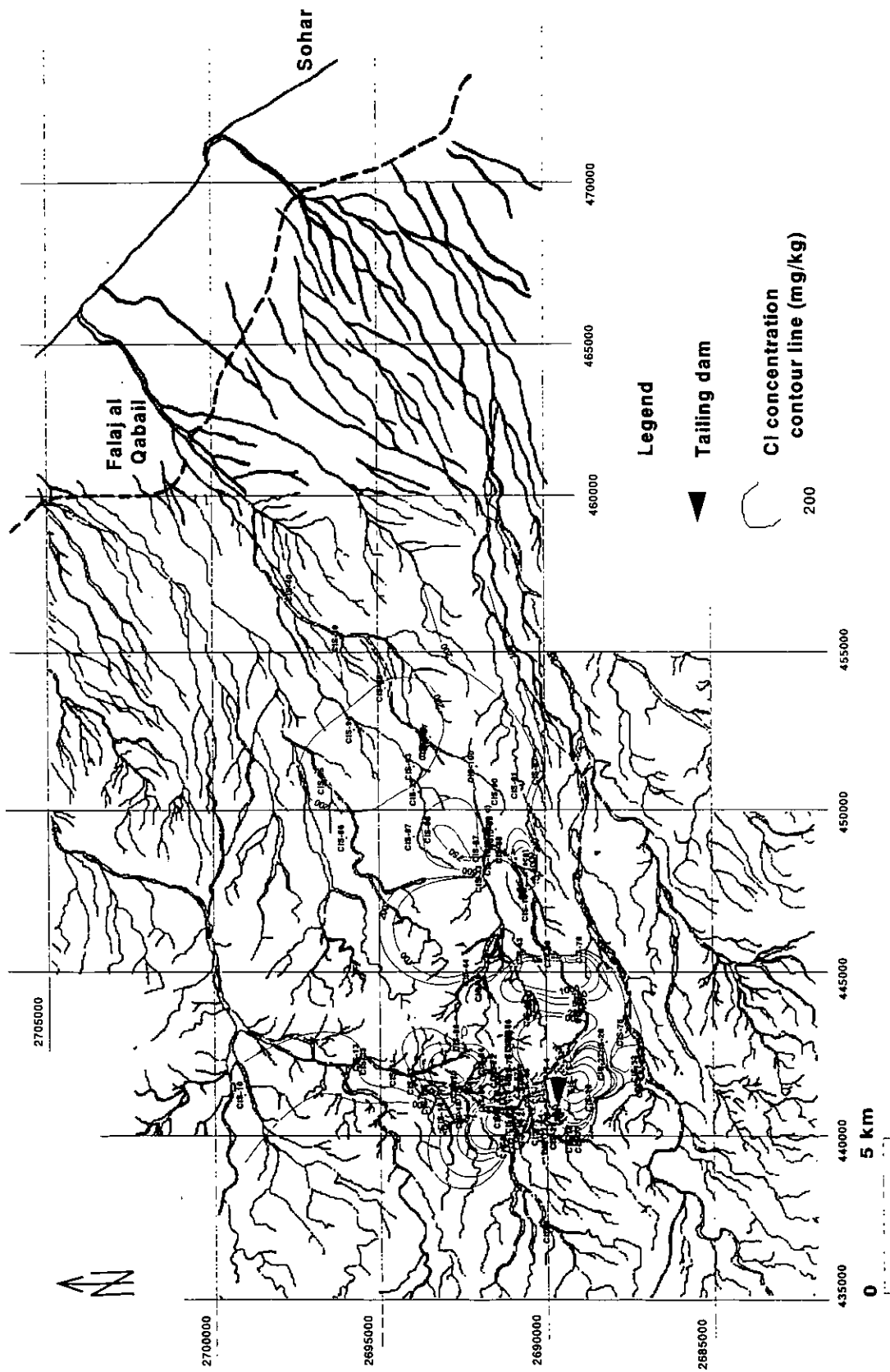


図 3.4 土壌中の塩分濃度分布図 (1)

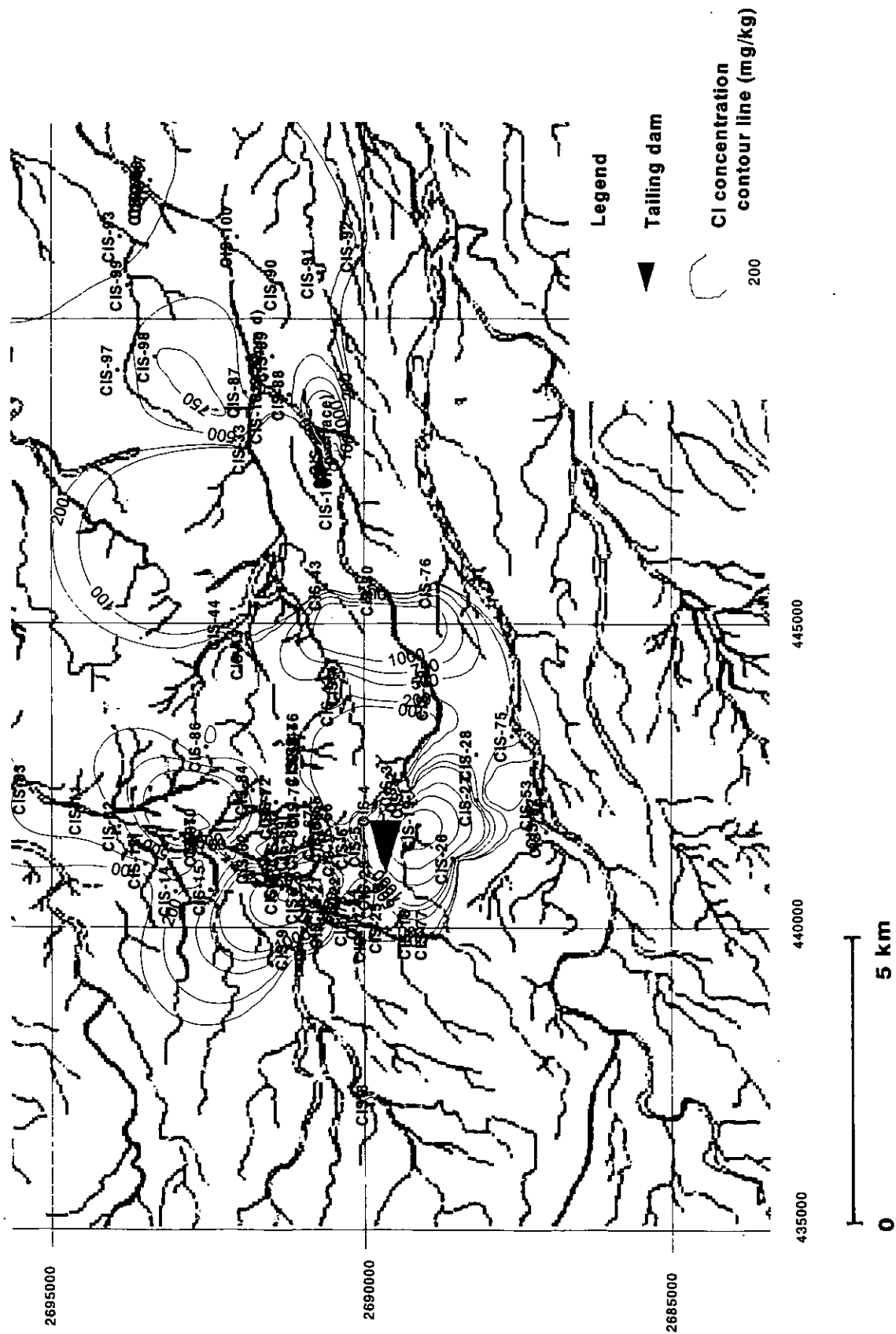


図 3.4 土壤中の塩分濃度分布図 (2)

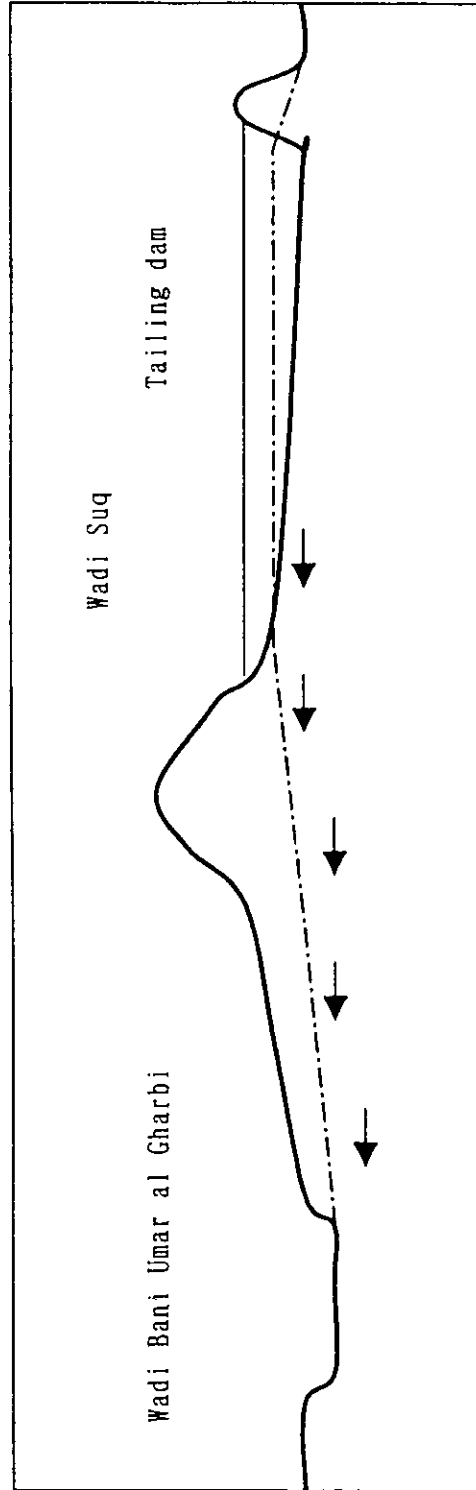
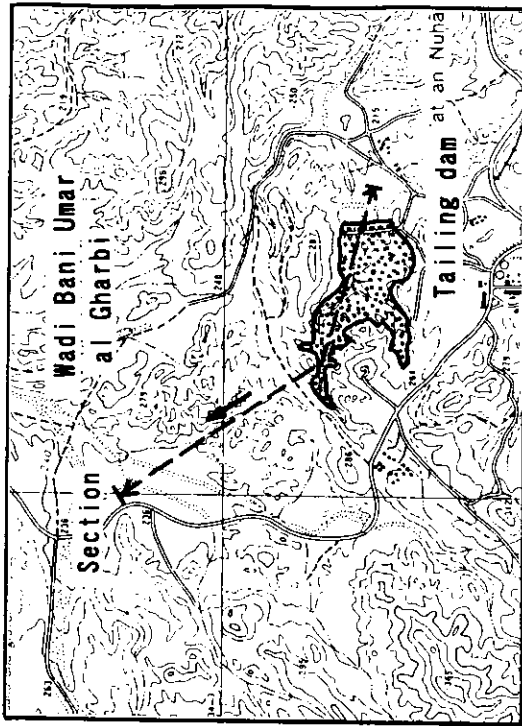


図 3.5 汚染源からの距離と土壌中の塩分濃度の関連図

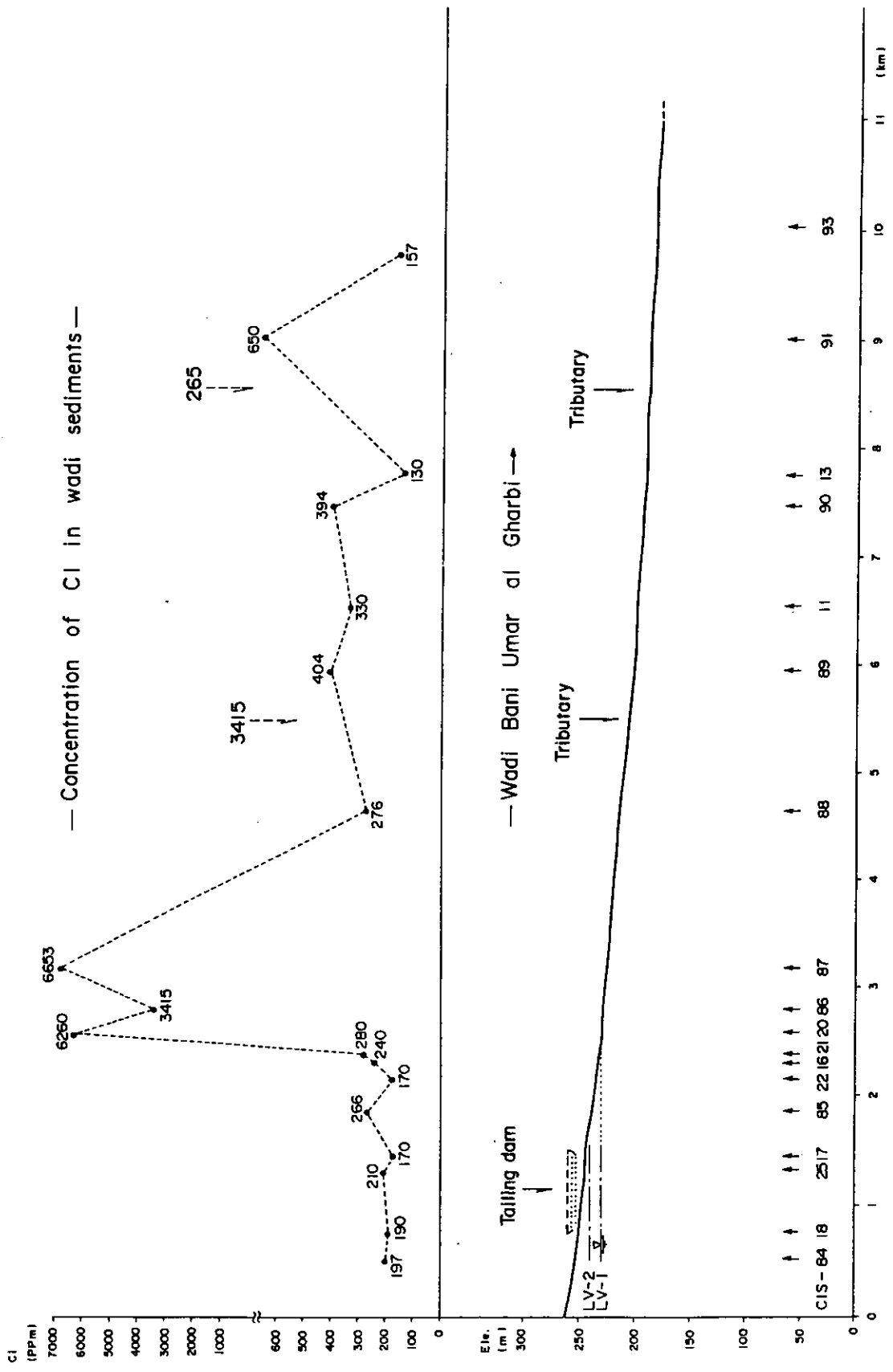


図 3.6 汚染水の漏水経路