

濃度線図を図 2-2-8 に示す。なお、本地区内には第 1 年次に採取された 16 試料が位置しており、等濃度線図ではその試料を含めて表されている。

### (1) 地質

Dioila 地区の地質は原生代の花崗岩質岩類と堆積岩類からなり、地区南西端部に花崗岩質岩類が、中央部から北東部に堆積岩類が分布する (図 1-2-2)。花崗岩質岩類は黒雲母角閃石花崗岩～花崗閃緑岩で、これを不整合に被覆する堆積岩類はアルコース砂岩～礫岩である。

本地区内では岩石の露出状態が非常に悪く、岩石露頭は確認されていない。地区西方の Bouraba の北方には角閃石黒雲母花崗岩、地区北方の Kouroukoro 北方の台地状丘陵地にはほぼ水平の堆積構造を呈するアルコース砂岩の露頭がある。

本地区全般において表層土壌は円磨された細粒の石英および長石の鉱物粒と風化粘土からなる。一般に花崗岩質岩類の分布域では粗粒の石英や雲母鉱物などが普通に観察されるため、本地区には花崗岩質岩類はほとんど分布しないと考えられる。

### (2) Au 地化学異常

Au の地化学異常を 50ppb 以上とした場合、10 試料が地化学異常となる。このうち、3 試料が第 1 年次に、7 試料が第 2 年次に採取されたものである。最高値は 792ppb と非常に高く、100ppb を超える試料が 7 試料もある。

地区南西部は Baoulé 川水系、北東部は Bagoé 川水系に相当し、地区中央には両水系の分水嶺が横断している。地化学異常試料は地区中央部から東部にまとまって分布し、このほとんどは Bagoé 川水系側に位置する。東側に位置する地化学異常試料は、南北方向の水系に沿い、同方向に配列している。なお、これらの地化学異常試料を含む水系の河床堆積物試料でも Au の含有量が高く、第 1 年次に地化学異常として抽出されている (図 2-2-9 参照)。

本地区では原生代末期の堆積岩類が広く分布しており、この地層では金の鉱化作用は未報告であり、金鉱床探査も実施されていないのが現状である。このような場所で明確な金の地化学異常が把握されたことは、金鉱床の探査上、非常に注目に値する。

## 2-2-3 河床堆積物

分析値の基本統計量を表 2-2-1 に、相関係数を表 2-2-3 に示す。

全般に金属元素の含有量は低い。Au、Pb では含有量にややばらつきがあり、地化学異常的な高い値が認められる。前述の土壌と同様に、分析成分の多くは多変量解析により 2・3 の因子に集約されるため、以下の特徴的な成分、環境上重要な成分および因子得点 (第 2 および第 3 因子) について、地化学図または高濃度試料分布図を作成した。

- ・ Au : 10 試料が 25 ppb 以上の高い値を示す。これらは金の鉱化作用を示唆するものであり、土壌の高含有量試料と調和的な分布を示す (図 2-2-9)。Au 高含有量試料は調査地域中央南部、北西部および北東部に分布する。
- ・ Pb : 15 試料が 100 ppm 以上の高い値を示す。これらはすべて第 1 年次の試料であ

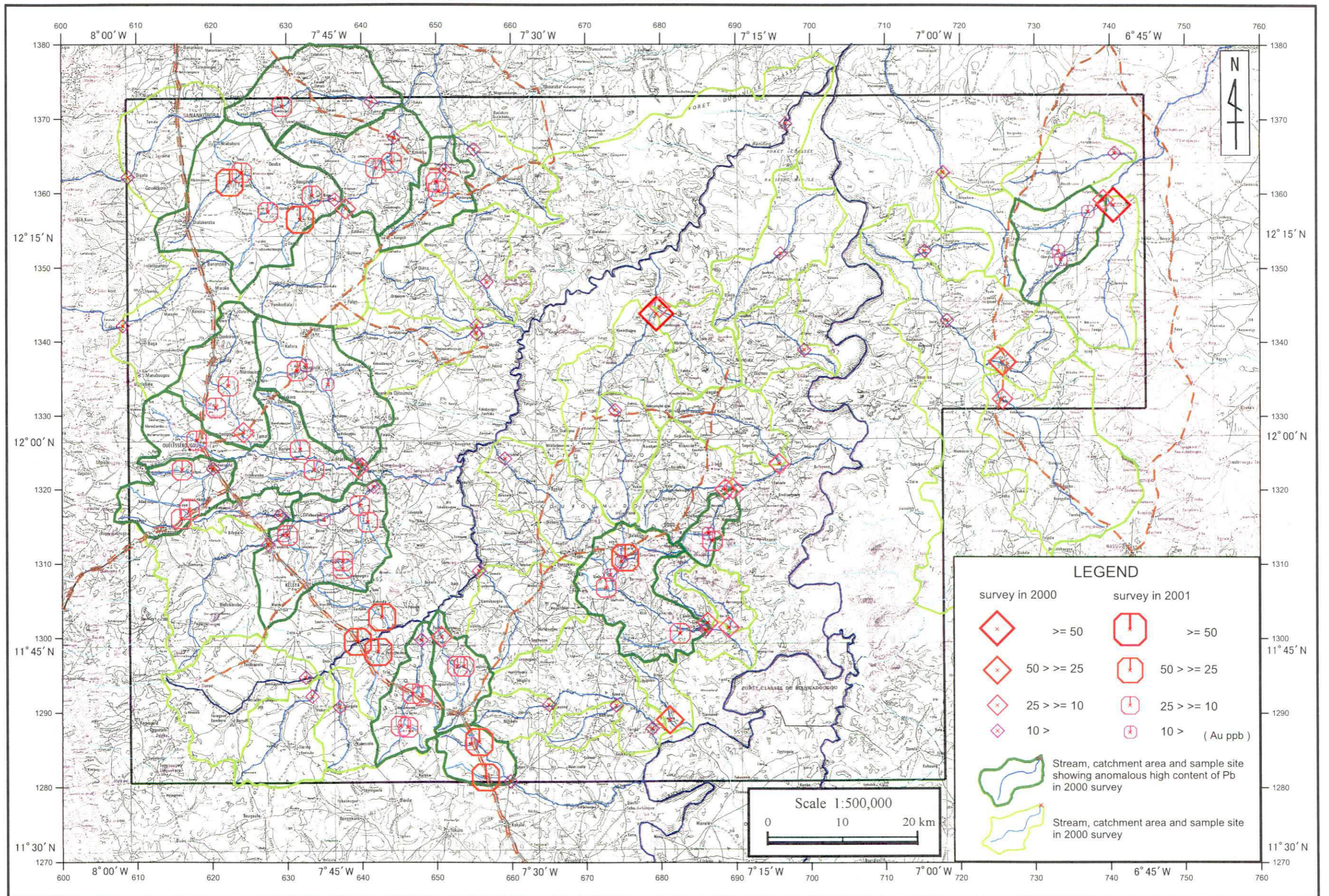


图2-2-9 Au地球化学图 (河床堆积物)

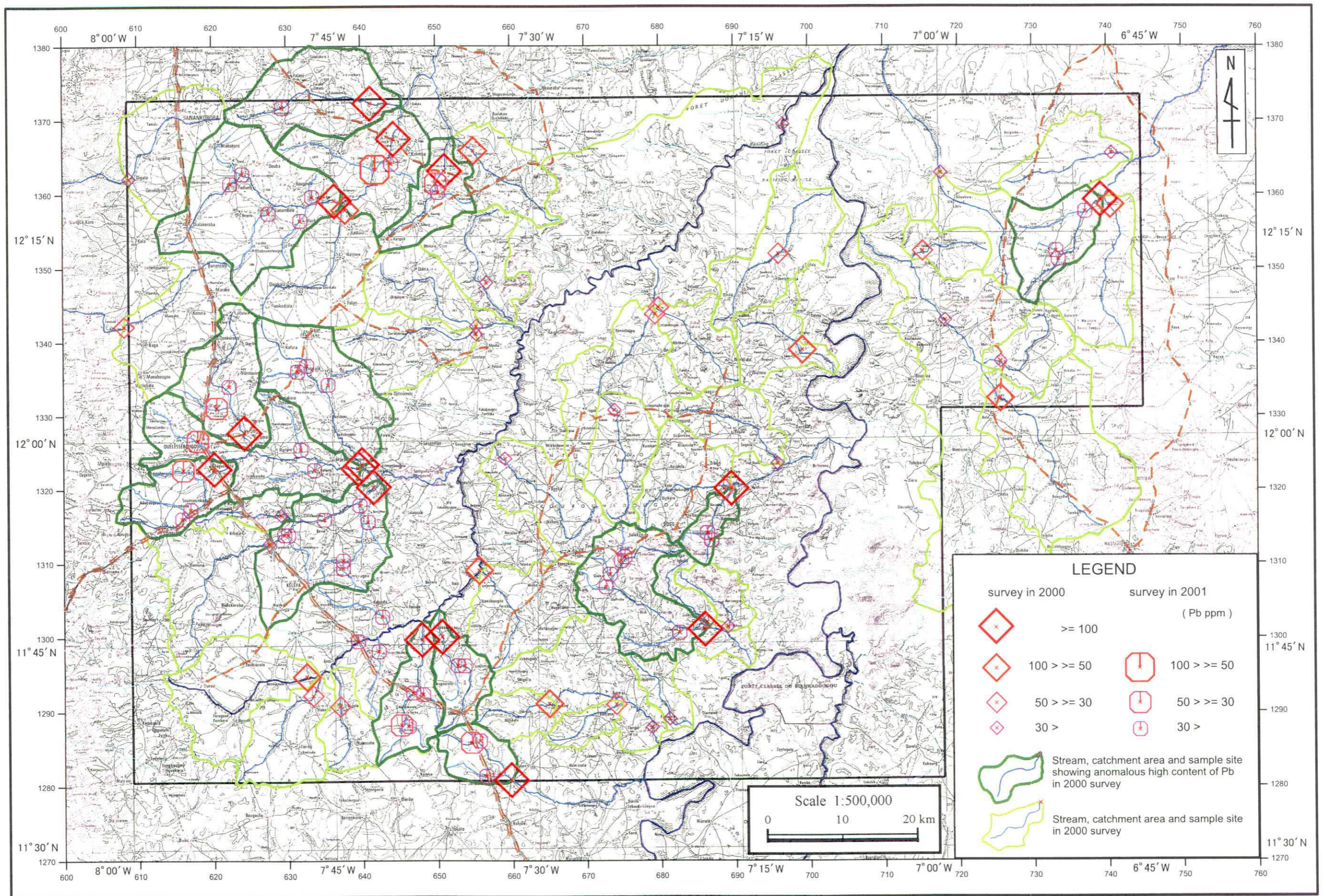


图2-2-10 Pb地球化学图 (河床堆积物)

り、その多くが国道 7 号線、Bamako から Tyélé に至る幹線道路および Sido から Dogo に至る幹線道路に沿う水系またはこれらの道路を横断する水系の試料である (図 2-2-10)。このため、Pb の高含有量は自動車等の活動に起因する可能性が第 1 年次に指摘され、本年度は Pb の高濃度水系を細分して詳細な調査が行われた。しかし、本年度の調査では 100 ppm 以上の高含有量試料は検出されなかった。Pb の高含有量の原因として、自動車やバッテリー等の人的要因は完全に否定できないが、基本的には深成岩やペグマタイトに由来すると推定される。

- ・ As : 2 試料が 20 ppm 以上の高い値を示す。これらは地域北西部の国道 7 号線に沿う比較的標高の高い水系の試料である (図 2-2-11)。As の高含有量試料は、土壌では金の鉱化作用に関係すると考えられるが、河床堆積物では既知の金鉱化帯周辺には分布しない。この As 高含有量の原因はラテライト化作用に伴う濃集と考えられる。
- ・ Cd : 2 試料が 2.0 ppm 以上の高い値を示す。これらの試料は点在しているが、土壌の高含有量試料の近傍に位置するため、何らかの共通の要因が考えられる (図 2-2-11)。
- ・ P : 4 試料が 400 ppm 以上の高い値を示す。これらは土壌の高含有量試料と調和的な分布を示しており、ペグマタイトのような花崗岩質岩類に起因すると考えられる (図 2-2-11)。

Ag, Mo, Sb, Cd, Bi, W, CN の 7 成分では、検出限界以下の分析値をもつ試料が半数を越える。Hg では分析値が 3 種類しかない。このため、これらの 9 成分を除く 20 成分について相関係数を算出した。相関係数において多くの元素が相互に正の相関を示すため、多変量解析の因子分析を行った。因子分析結果は次のとおりである。なお、多変量解析の際に、検出限界以下の値は検出限界値の 2 分の 1 とした。

- ・ 第 1 因子 : Al, Mg, Ni, Zn, K, Ba, Cu が正に高く寄与しており、負の高い寄与成分はない。第 1 因子はラテライト層準のうちサプロライトのような粘土質土壌を表す。正の因子得点の高い試料は地域中央から南西部に分布する。
- ・ 第 2 因子 : Fe, V, Cr, As が正に高く寄与しており、負の高い寄与成分はない。第 2 因子は、土壌の第 1 因子と同じくラテライト化を強く受けた土壌層準 (ラテライト皮殻やピソリス) を表す。正の因子得点の高い試料は調査地域中央部および西部に分布する (図 2-2-12)。
- ・ 第 3 因子 : Co, Ti, Mn が正に高く寄与しており、負の高い寄与成分はない。第 3 因子は塩基性火成岩類を表す。正の因子得点の高い試料は Banifing 川以東の地域中央から北東部に分布する (図 2-2-13)。
- ・ 第 4 因子 : Ca, Sr, Ba, Na が正に高く寄与しており、負の高い寄与成分はない。第 4 因子は土壌の第 3 因子と同じく花崗岩質岩類を表す。

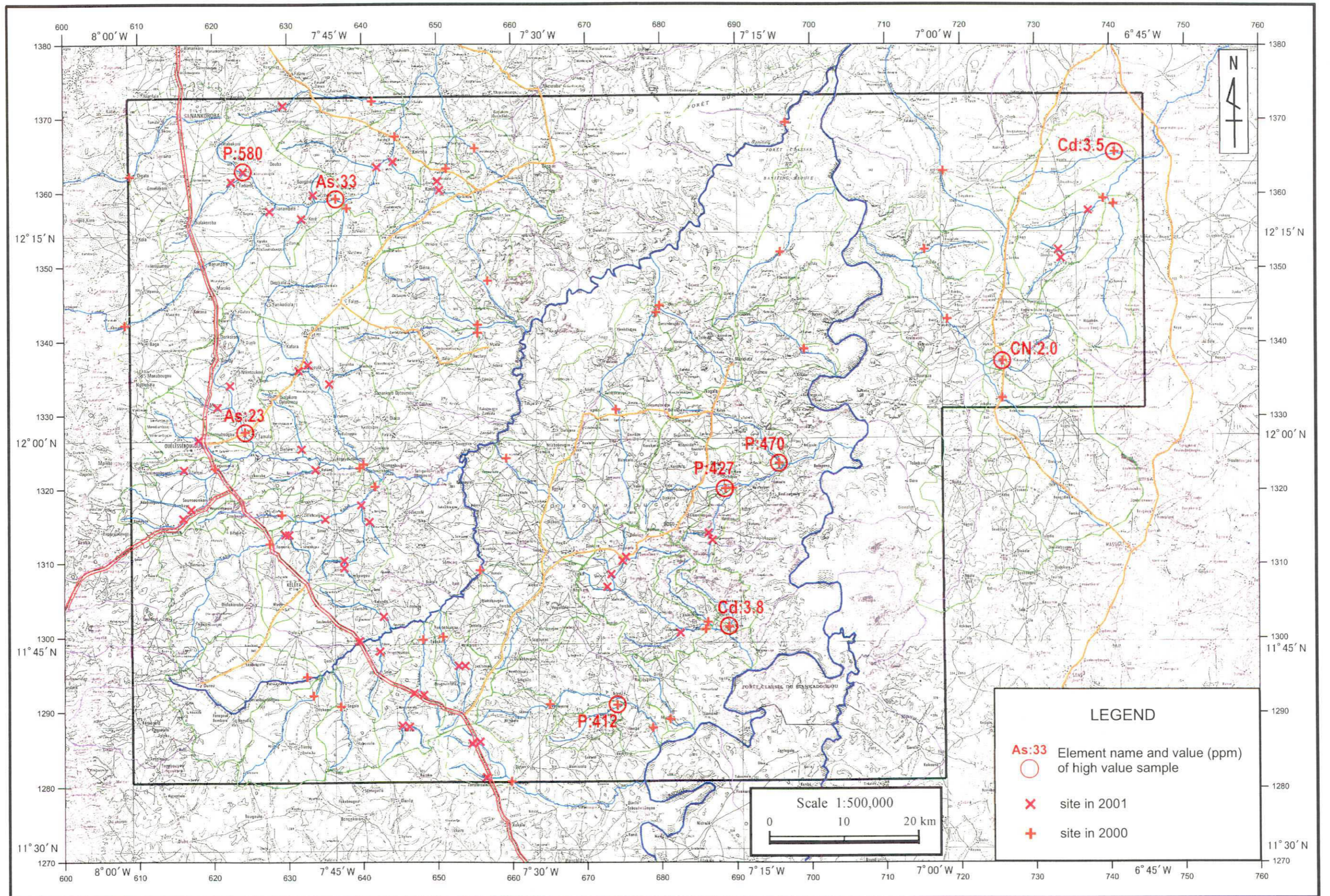


图2-2-11 As, Cd, CN, P 高浓度试样分布图 (河床堆积物)

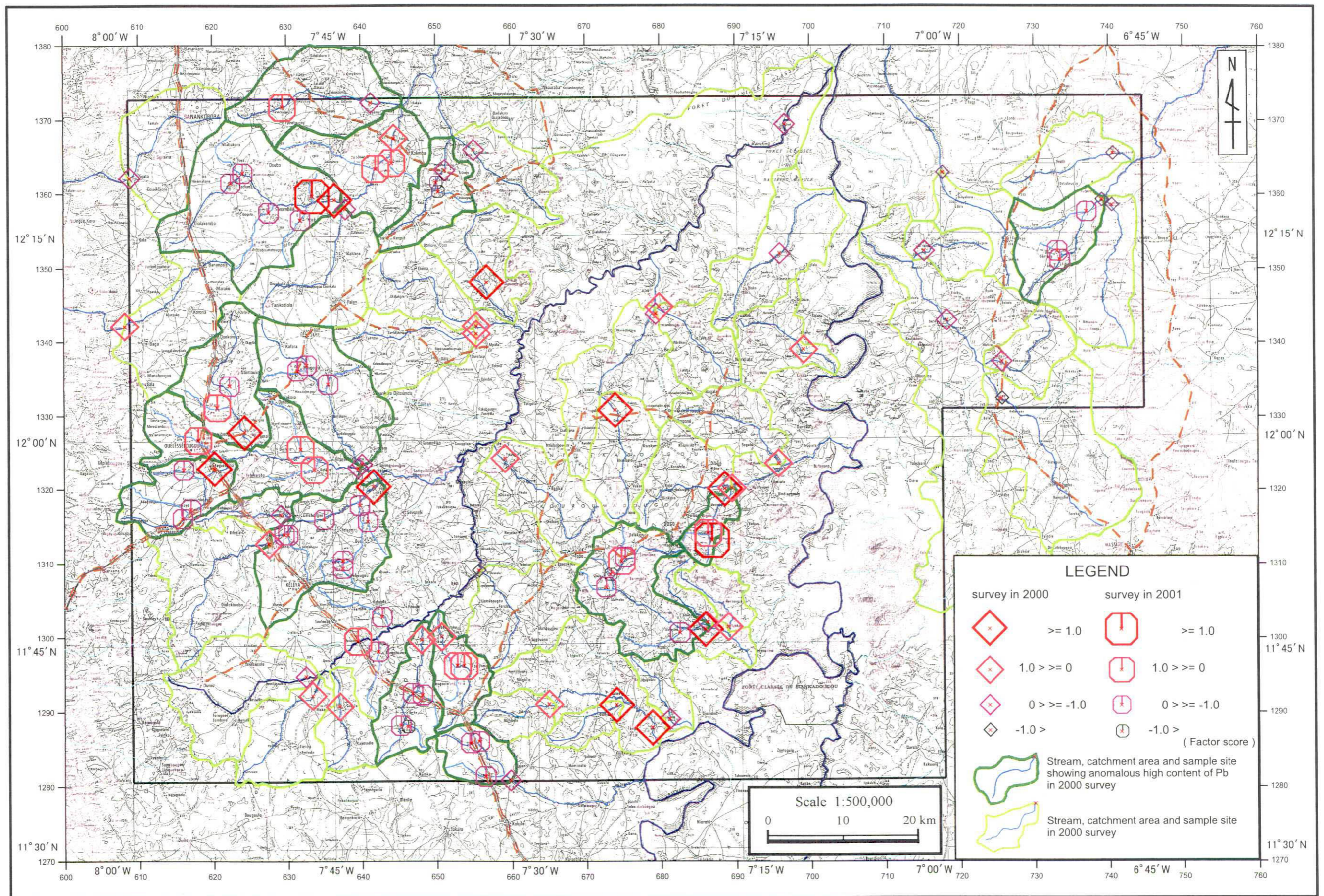


图2-2-12 第2因子得点地球化学图(河床堆积物)

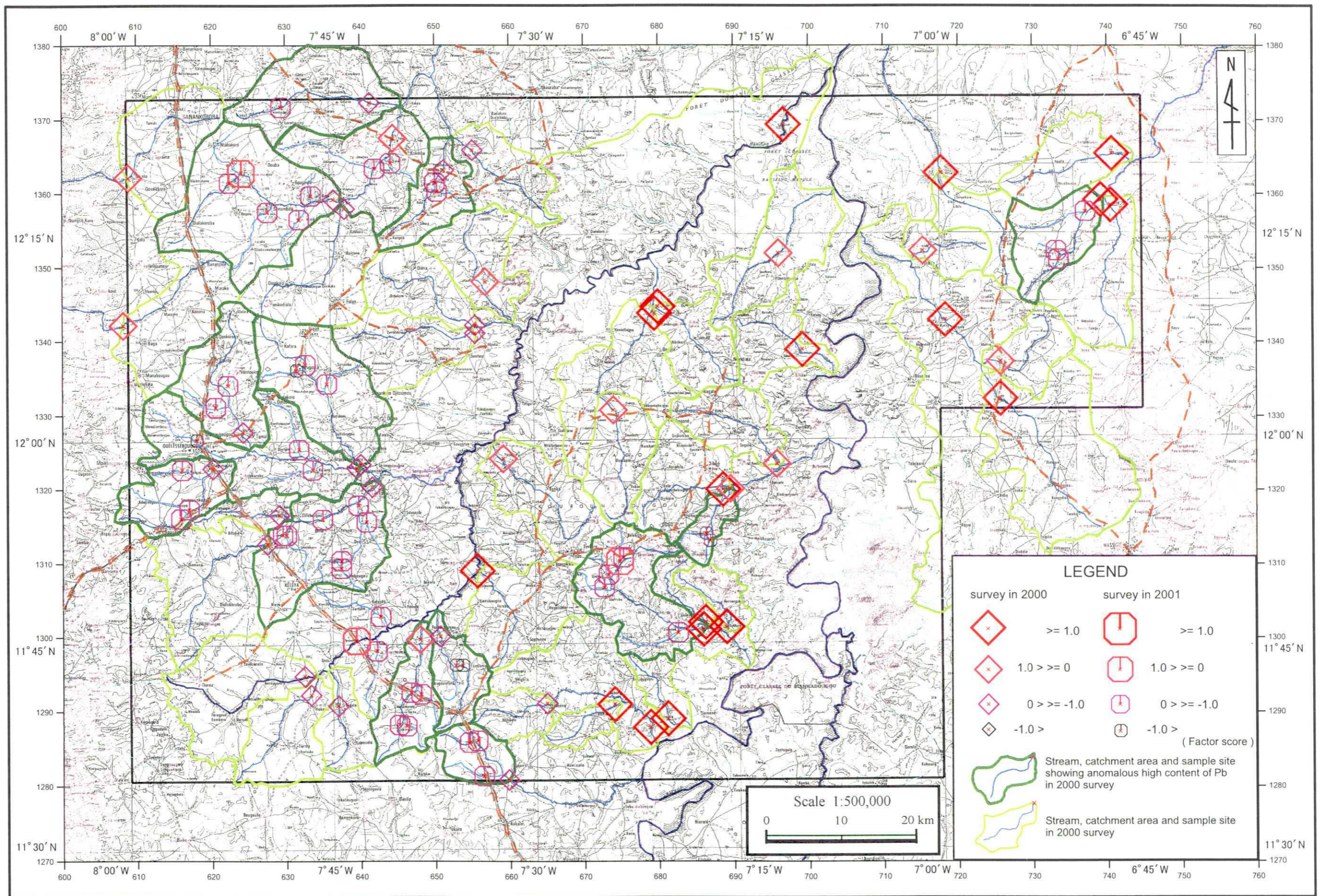


图2-2-13 第3因子得点地球化学图(河床堆积物)

- ・ Au と Pb は相関係数からも明らかのように、それぞれ単独の挙動を示し、因子として明瞭に抽出されなかった。

#### 2-2-4 岩石

岩石の化学分析値の基本統計量を表 2-2-5、相関係数を表 2-2-6、露出岩石と近傍土壌の化学分析値の平均値を比較したものを表 2-2-7 に示す。

土壌と河床堆積物では、分析成分間で有意な負の相関関係はほとんど認められず、多くの成分が正の相関関係を示す。一方、岩石では、相互に正の相関関係を示すグループ (Au, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn, Fe, Mg, Ca, Ti, V, Pb) とこのグループに対して負の相関関係を示すグループ (K, Na, Ba, P, Be, Mo, Sr, Al) に大別される。前者グループは dolerite や diorite などの塩基性火成岩類で高い値を示し、後者グループは塩基性火成岩以外の岩石種類で高い。これは、岩石とその風化産物である土壌や河床堆積物との間で元素挙動に大きな相違があることを示す。岩石と土壌を比較すると、Au と Pb を除くすべての成分で岩石の方が土壌より最大値、平均値および標準偏差が高い。すなわち、岩石の方が一般的な金属元素に富み、土壌化することにより元素は溶脱されて含有量が低くなる傾向にあることを表す。

表 2-2-7 では、岩石種類および分析成分別に、地表に露出する岩石とその近傍に分布する土壌の平均値を併記して、両者の相対的な大小関係を岩石から見た符号で表している。例えば同表で、sandstone (砂岩) において、V は rock (岩石) に比べて soil (土壌) の方が非常に高く (++)、K は逆に rock に比べて soil の方が非常に低い (--)。これは、sandstone の場合、ラテライト化によって地表の土壌で V は残存濃集され、K は溶脱されていることを表す。

表 2-2-7 から、ほとんどの岩種で溶脱される元素 (Au, K, Na, Sr, Ca, P)、逆に残存濃集する元素 (Cr, Ti)、岩種により挙動が分かれる元素 (V, Fe, Cu, Ni) の 3 グループが抽出される。後二者の元素は dolerite および diorite の塩基性火成岩類で高いという共通性を持つ。

以上のように、岩石を分析することによって各元素の挙動が明らかになり、この結果は前項の土壌および河床堆積物の解析に有効に利用された。

以上の傾向を考慮して特徴的な幾つかの元素を選択し、相関図を利用することで岩石と土壌における元素挙動を検討した。Ti-K と Fe-Au の 2 成分相関図を図 2-2-14 に示し、以下に図の説明を記す。Ti は土壌に残存濃集する元素、K は土壌で溶脱される元素、Fe は岩種により挙動が異なる元素である。

##### ① Ti-K 相関図

岩石種類別平均値データ (赤○印) では、Dolerite と Diorite の塩基性火成岩類は高 Ti - 低 K を示し、その他の岩石は低 Ti - 高 K を示し、岩石種類が明瞭に区分される。岩石全体のデータ (赤×印) はばらついて見えるように見えるが、岩種別でまとまっているため、



表2-2-4 化学分析値の基本統計量 (岩石試料)

成分名 単位	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Al %	Mg %	Ca %	K %	Na %	Ti %	Ba ppm	P ppm	Sr ppm	V ppm	Be ppm	Mo ppm	As ppm	Sb ppm	Cd ppm	Bi ppm	W ppm	Hg ppm	CN ppm
検出限界値	5	0.5	1	2	2	1	1	1	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10	10	1	1	0.5	1	5	5	0.5	2	10	0.01	1
検出限界値以下の試料数	0	11	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	14	14	20	18	12	20	20
試料数	20	9	20	19	20	18	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	16	17	6	6	0	2	8	0	0
最大	296	2	133	80	94	100	43	310	1530	8.39	9.16	4.53	7.3	9.05	3.05	0.66	2050	1040	973	264	10	107	15	30	0	12	30	0	0
最小	7	0.5	7	2	6	1	1	6	55	0.66	0.23	0.05	0.04	0.06	0.06	0.01	30	100	10	1	0.5	1	5	5	0	6	10	0	0
平均 (m)	52	-	53	34	48	40	20	92	702	4.29	6.54	1.76	2.60	2.63	1.48	0.32	624	466	226	122	3	9	-	-	-	-	-	-	-
標準偏差(σ)	67	-	48	19	22	33	16	88	529	2.68	1.80	1.74	2.88	2.47	1.14	0.21	556	223	244	103	3	25	-	-	-	-	-	-	-
m+2σ	185	-	149	73	91	107	53	268	1760	9.65	10.14	5.24	8.37	7.57	3.76	0.73	1735	913	714	328	9	59	-	-	-	-	-	-	-

表2-2-5 化学分析値の相関係数 (岩石試料)

	Au	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cr	Mn	Fe	Al	Mg	Ca	K	Na	Ti	Ba	P	Sr	V	Be	Mo
Au	1																				
Cu	0.32	1																			
Pb	-0.02	0.04	1																		
Zn	0.18	0.69	-0.02	1																	
Ni	0.58	0.87	0.11	0.73	1																
Co	0.48	0.87	0.17	0.77	0.96	1															
Cr	0.42	0.82	0.30	0.63	0.88	0.86	1														
Mn	0.36	0.69	0.21	0.62	0.76	0.88	0.65	1													
Fe	0.34	0.95	-0.01	0.70	0.85	0.81	0.84	0.61	1												
Al	0.13	-0.03	-0.03	0.33	0.09	0.06	0.10	-0.06	0.11	1											
Mg	0.46	0.86	0.27	0.76	0.94	0.95	0.92	0.77	0.83	0.01	1										
Ca	0.44	0.87	0.30	0.77	0.91	0.93	0.87	0.77	0.79	-0.01	0.97	1									
K	-0.09	-0.58	-0.08	-0.45	-0.47	-0.42	-0.48	-0.19	-0.46	0.34	-0.57	-0.66	1								
Na	-0.20	-0.26	0.01	0.14	-0.29	-0.24	-0.30	-0.28	-0.37	0.31	-0.20	-0.04	-0.28	1							
Ti	0.32	0.89	-0.03	0.82	0.88	0.90	0.81	0.71	0.91	0.24	0.84	0.81	-0.35	-0.27	1						
Ba	-0.13	-0.43	-0.31	-0.07	-0.31	-0.28	-0.38	-0.16	-0.27	0.43	-0.38	-0.49	0.67	-0.13	-0.11	1					
P	-0.29	-0.16	-0.14	0.08	-0.29	-0.23	-0.24	-0.18	-0.17	0.17	-0.13	-0.09	-0.09	0.55	-0.22	-0.08	1				
Sr	-0.07	-0.20	0.01	0.28	-0.19	-0.14	-0.21	-0.13	-0.16	0.31	-0.10	0.01	-0.18	0.65	-0.06	0.23	0.25	1			
V	0.38	0.95	-0.03	0.72	0.90	0.86	0.87	0.63	0.98	0.15	0.85	0.81	-0.44	-0.36	0.95	-0.27	-0.23	-0.21	1		
Be	-0.32	-0.58	-0.05	-0.45	-0.63	-0.61	-0.59	-0.54	-0.67	0.20	-0.59	-0.53	0.26	0.57	-0.66	0.01	0.56	-0.03	-0.64	1	
Mo	-0.15	0.13	-0.14	-0.23	-0.16	-0.27	0.03	-0.28	0.27	0.08	-0.19	-0.20	0.07	-0.28	-0.04	-0.04	-0.01	-0.15	0.16	-0.08	1

表2-2-6 岩石と土壤の化学分析値の比較

Rock name		Au ppb	V ppm	Fe ppm	Cr ppm	Cu ppm	Mn ppm	As ppm	K %	Co ppm	Ti %	Ni ppm	Al %	Zn ppm	Mg %	Na %	Sr ppm	Ca %	P ppm	Ba ppm	Pb ppm
sandstone	rock	40	23	1.94	24	13	847	15	4.63	11	0.12	13	3.76	23	0.62	0.13	72	0.37	310	853	35
	soil	16	117	4.61	118	29	796	10	0.96	14	0.51	23	6.11	25	0.15	0.07	33	0.12	239	241	28
vary from rock to soil		-	++	+	++	+	±	-	--	+	++	+	+	±	--	-	-	--	-	--	-
dolerite	rock	99	255	7.59	170	121	1301	5	0.62	41	0.58	81	6.24	70	3.80	1.24	171	6.26	434	304	32
	soil	20	178	6.78	207	66	1168	13	0.77	34	0.59	55	6.65	37	0.31	0.10	38	0.21	206	507	34
vary from rock to soil		--	-	-	+	-	-	+	+	-	±	-	±	-	--	--	--	--	-	+	±
diorite	rock	53	203	6.35	259	87	1160	<5	0.54	38	0.47	68	6.80	65	4.42	1.28	205	6.55	410	165	72
	soil	6	159	5.46	253	65	1235	5	0.40	36	0.65	57	6.31	53	0.77	0.19	42	0.67	185	255	28
vary from rock to soil		--	-	-	±	-	±	+	-	±	+	-	±	-	--	--	--	--	-	+	-
granodiorite	rock	37	25	1.90	11	12	313	<5	2.26	5	0.17	8	7.62	47	0.43	3.04	763	1.34	530	935	36
	soil	24	77	2.98	89	28	557	5	2.01	14	0.45	32	7.42	55	0.96	1.50	446	1.31	358	934	41
vary from rock to soil		-	++	+	++	+	+	+	-	+	+	++	±	+	+	-	-	-	-	±	+
granite	rock	17	22	1.75	16	15	298	5	3.24	6	0.12	7	7.00	39	0.36	2.73	241	0.67	728	593	31
	soil	18	101	4.40	86	21	418	21	2.55	9	0.30	14	8.30	37	0.35	0.91	126	0.28	293	627	37
vary from rock to soil		±	++	+	++	+	+	++	-	+	+	+	+	±	±	-	-	-	-	±	+
schist	rock	45	138	4.63	80	39	216	5	4.25	14	0.33	28	7.86	40	0.79	0.85	136	0.30	358	955	18
	soil	19	192	7.93	157	46	386	14	1.90	14	0.36	34	7.37	33	0.58	0.48	97	0.33	326	433	22
vary from rock to soil		-	+	+	+	+	+	+	-	±	+	+	±	-	-	-	-	±	-	-	+
average	rock	48	111	4.02	93	48	689	8	2.59	19	0.30	34	6.55	47	1.73	1.54	265	2.58	462	634	37
	soil	17	137	5.36	152	42	760	11	1.43	20	0.48	36	7.03	40	0.52	0.54	130	0.49	268	500	32
vary from rock to soil		-	+	+	+	-	+	+	-	±	+	±	±	-	--	-	-	--	-	-	-

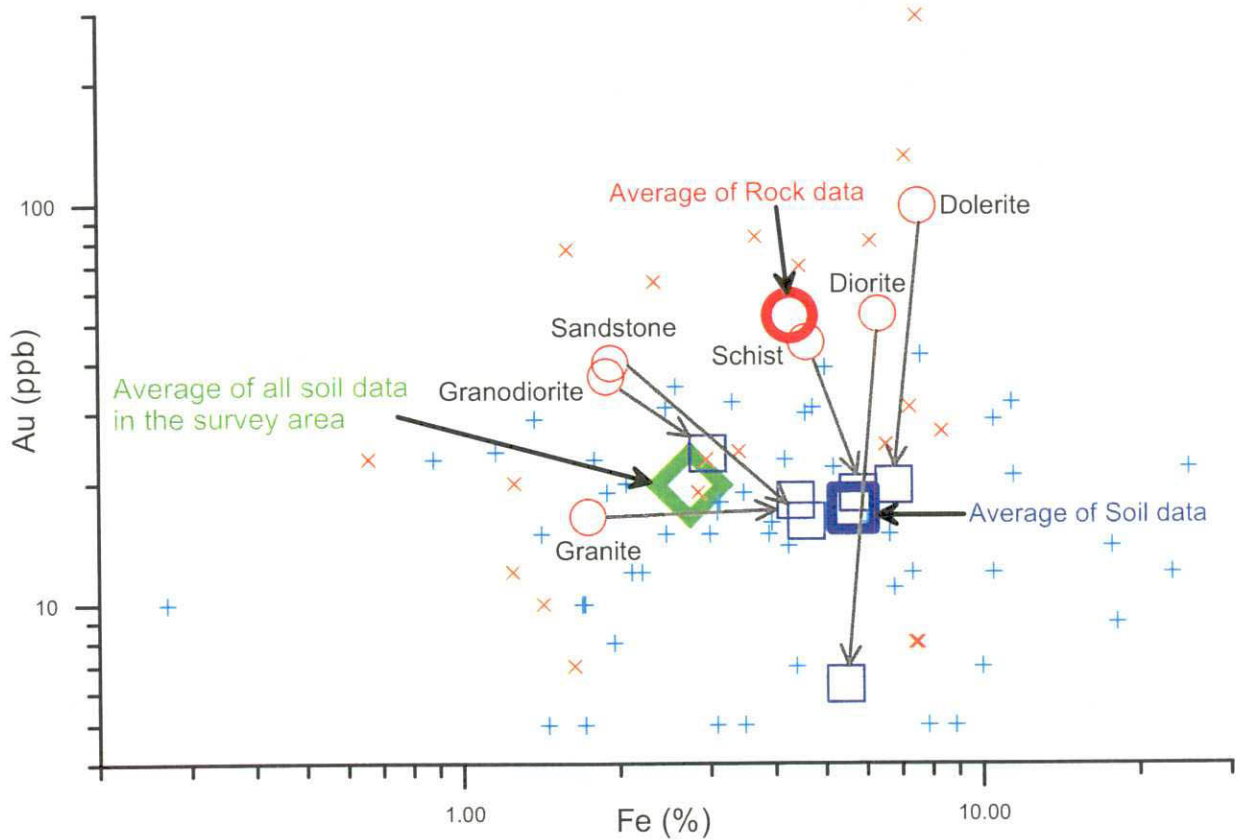
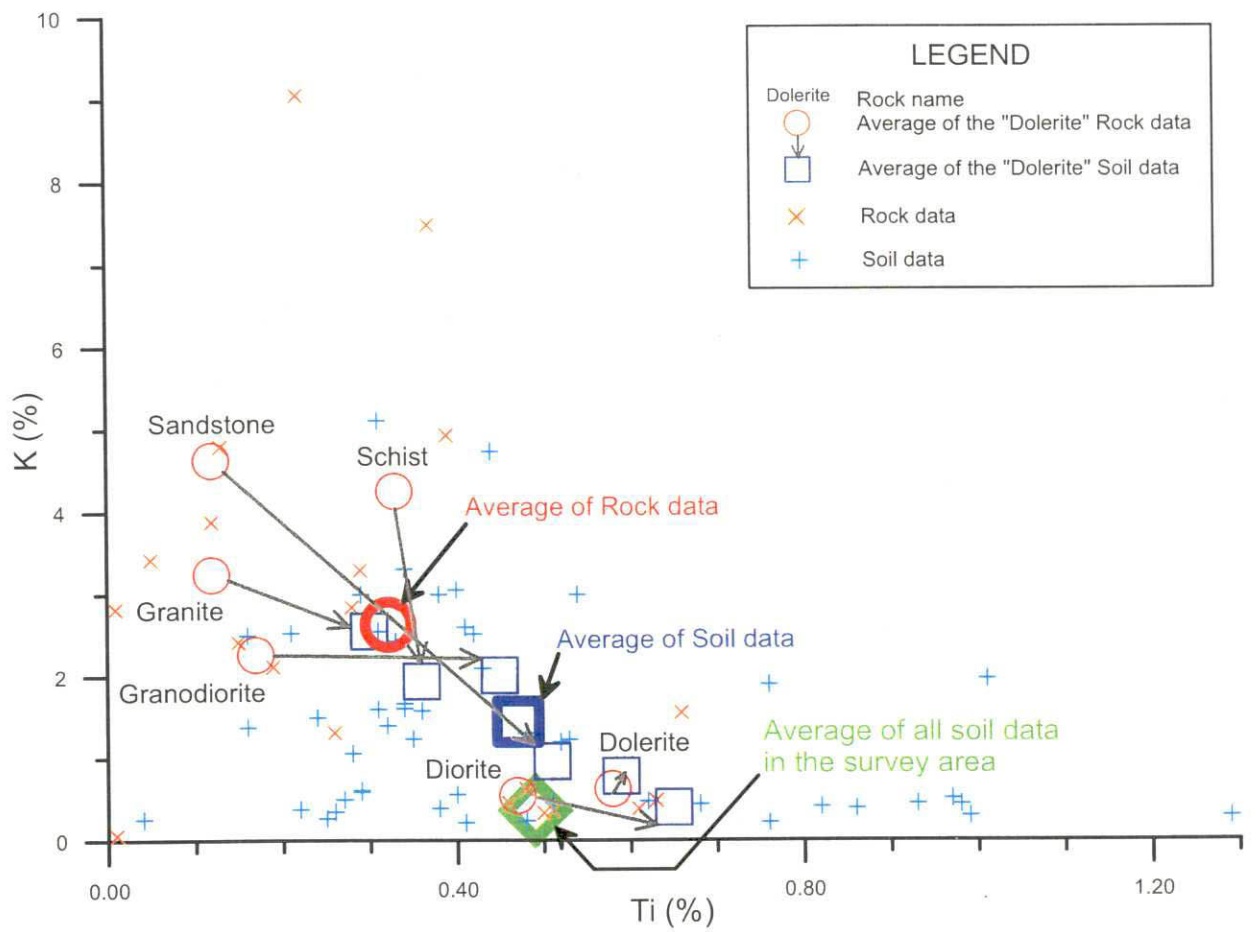


図2-2-14 Ti-K, Fe-Au相関図 (岩石調査)

岩石の Ti-K は弱い負の相関を示す (-0.35)。

土壌データ (青+印) は岩石データ (赤×印) に比べて高 Ti-低 K 方向に全体的にシフトしており、岩種別土壌の平均値 (青□印) のばらつきは小さくなっている。土壌データの平均値 (青太□印) は本調査の全土壌データの平均値 (緑太◇印) に比べて、Ti はほぼ同じであるが、K が高い。

岩石と土壌の関係から、土壌化によって K は溶脱し、Ti は残存濃集する傾向が明瞭に読み取れる。

## ② Fe-Au 相関図

岩石種類別平均値データ (赤○印) では、Dolerite, Diorite および Schist の塩基性火成岩類と変成岩類は高 Fe-高 Au を示し、Granite, Granodiorite および Sandstone の花崗岩質岩類と花崗岩質堆積岩類は低 Fe-低 Au を示し、岩石種類が明瞭に区分される。岩石全体のデータ (赤×印) はばらついているように見えるが、岩種別でまとまっているため、岩石の Fe-Au は弱い正の相関を示す (0.34)。

土壌データ (青+印) は岩石データ (赤×印) に比べて高 Fe-低 Au 方向に全体的にシフトしており、岩種別土壌の平均値 (青□印) のばらつきは小さくなっている。土壌データの平均 (青太□印) は本調査の全土壌データの平均値 (緑太◇印) に比べて、Au はほぼ同じであるが、Fe が高い。

岩石と土壌の関係から、土壌化によって Au は溶脱し、Fe は残存濃集する傾向が明瞭に読み取れる。ただし、Dolerite および Diorite の塩基性火成岩類では Fe は溶脱傾向にある。

## 2-3 考察

土壌試料と河床堆積物試料の各成分の化学分析値を比較すると、両者の間に大きな差は認められないが、Pb は河床堆積物の方が、As は土壌の方が高い傾向が認められる。一般に、土壌と河床堆積物の各成分の高含有量試料は調和的な分布を示す。これは、ほとんどの成分の高含有量が地質、土質および地形に起因するためである。一方、岩石試料と土壌試料を比較すると、Au と Pb を除くすべての成分で岩石の方が土壌より最大値、平均値および標準偏差が高い。すなわち、一般的な金属元素は土壌よりも岩石の方に富み、含有量のばらつきが大きく、これらの元素は風化土壌化することにより溶脱され含有量が低くなるという傾向を表す。ほとんどの岩種で溶脱される元素は Au, K, Na, Sr, Ca, P など、逆に残存濃集する元素は Cr, Ti, 岩種により挙動が分かれる元素は V, Fe, Cu, Ni である。

土壌、河床堆積物および岩石の重金属類の含有量は全般に低く、CN, Cd, Hg, Cr, As, Pb のような有害成分の含有量も概して低い。地質に起因する成分として、塩基性火成岩類では Co, Ti, Ni, Zn, Cu, Cr など、花崗岩質岩類では Na, K, Al, Sr, P, Ba など、変成岩類および堆積岩類では K が高い。Au と As の高含有量は金鉱化作用に起因

する。

Pb の高含有量試料はその分布から、地質的な要因だけではなく、自動車の排気ガス等の人的要因の可能性も考えられる。本地域の地質から、CN, Cd, Hg などの含有量が高くなることは考えにくい。これらの成分の高含有量地点では何らかの人工的な汚染が想定される。実際には、これらの 3 成分ではほとんどの試料が検出限界以下の値を示しており、その絶対値から地域内での汚染の可能性は非常に低い。

既存の金鉱山および既往の金鉱床探査によると、金鉱化作用は Birrimien 累層群の変成岩類とこれを貫くバソリス状花崗岩質岩類に賦存することが明らかになっている。また、これらを不整合に覆うアルコース砂岩などの堆積岩類とこれらを貫く塩基性火成岩類には金鉱化作用は存在しないと考えられている。しかし、Dioila 地区の土壌調査により、この堆積岩類の分布域においてまとまった Au 地化学異常帯が明瞭に確認された。本地区には何らかの形で金の付加があったといえる。本地区の Au 地化学異常の原因として、以下の事象が想定される。

- ① 堆積岩類が堆積した際に、漂砂または流砂による二次堆積性の金鉱床が形成された。
- ② 堆積岩類の下位に金鉱化帯を胚胎する地層が存在し、堆積岩類の分布域内に小窓状に分布する。
- ③ Dioila 地区南西方（調査地域東部）に存在する金鉱化帯などから、金を含む土壌が運搬された。

現実的には①か②の可能性が強いと考えられるが、何らかの結論を導くためには、詳細な地質・地化学探査やボーリング調査が必要である。

河床堆積物は採取地点の上流側の情報を代表するものであるが、土壌は一般に採取地点近傍の情報でしかない。したがって、広域的な基礎調査には河床堆積物の方が好ましい。しかし、本地域ではアクセスの問題が大きく、河床堆積物調査では効率的なサンプリングができない場合がある。土壌と河床堆積物の間で化学分析結果に大きな相違がなかったことから、本調査のように土壌と河床堆積物の調査を併用することは有効である。

化学分析値の絶対値から、Pb を除くと調査地域には人為的な重金属汚染は存在しないと推定される。しかし、地質の相違および鉱化作用の有無に起因する分析値の差が明瞭に認められることから、地質や鉱化作用に起因する自然現象としての高含有量と人為的な環境負荷による高含有量とを混同しないように注意する必要がある。