

第2章 土壌・河床堆積物調査

2-1 調査方法

土壌、河床堆積物および岩石を乾季に採取して、化学分析を行い、分析結果の基本統計量および相関係数を算出し、必要なものについて図面を作成した。土壌と河床堆積物については第1年次の調査結果を含めてデータ解析を行った。各試料採取地点では、採取場所と採取試料の記載、写真撮影およびGPS測量を行った。【巻末の写真6】

(1) 試料採取

土壌、河床堆積物および岩石の試料採取位置図をそれぞれ図2-2-1、図2-2-2、図2-2-3に、採取地点のデータをそれぞれ巻末資料12、巻末資料13、巻末資料14に示す。採取試料総数は、土壌が350、河床堆積物が50、岩石が20である。岩石試料と共に採取された50個の土壌試料のデータについては、岩石と一緒に巻末資料14に示す。なお、巻末資料には第1年次結果が含まれており、土壌では試料番号SS001～SS200、河床堆積物では試料番号FS01～FS50が第1年次結果に相当する。

① 土壌

第1年次に調査地域の東半分、西経7度30分より東側の範囲で調査を完了しており、本年度は西半分、西経7度30分より西側の範囲で調査を行い、200試料を採取した。第1年次に地域北東部で抽出されたAuの地化学異常帯に対する詳細調査として、100試料を採取した。原則として、試料採取地点は四輪駆動車が通行できる生活道路沿いとし、かつ、地点分布がなるべく等間隔になるように設定した。この他に、岩石試料採取と並行して、岩石採取地点近傍で50試料を採取した。

採取地点は住民生活の負荷の及ばない所とし、地表から深さ30cm程度の土壌を採取した。採取試料は自然乾燥させ、篩分けにより80メッシュ以下の試料を分析に供した。

② 河床堆積物

第1年次に調査地域を包括する50水系で調査を行った結果、Pbが高濃度な15水系が抽出され、その原因として地質岩相または車両等の人的活動が推定された。本年度ではその原因を明らかにするため、これらの広範囲な15水系を細分した50水系を抽出して試料採取を実施した。

すべての河川で水が溜っていたため、河床部の堆積物から深度10cm程度の細粒堆積物を採取した。採取試料は自然乾燥させ、篩分けにより80メッシュ以下の試料を分析に供した。

③ 岩石

第1年次の土壌・河床堆積物の調査結果から、金属元素の含有量は地質岩相の相違に大きく起因していることが判明し、解析結果の評価のために地質区分別のバックグラウンドデータの取得が必要とされた。このため、本年度では岩石露頭から岩石を採取し、かつ

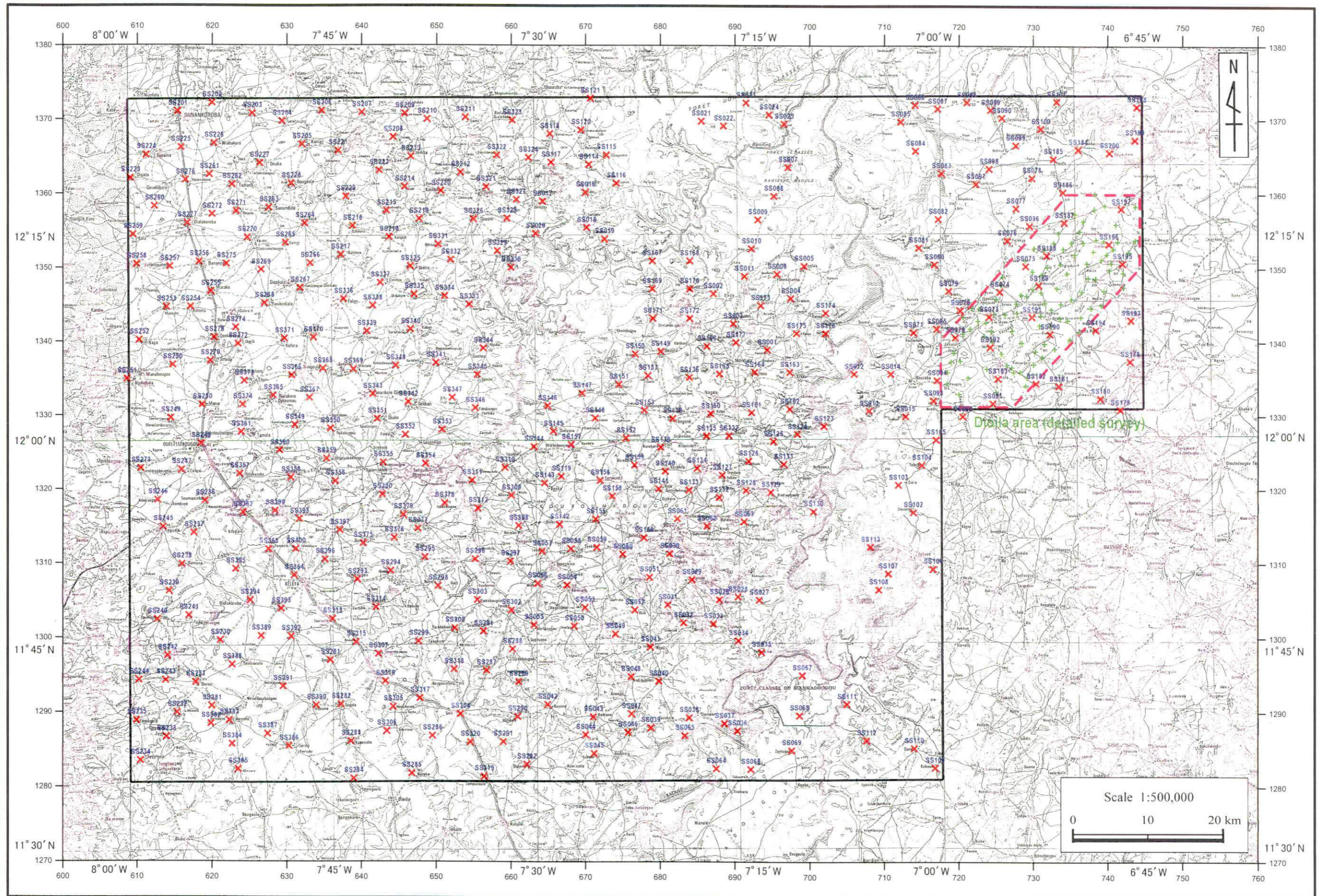


図2-2-1 土壤試料採取位置図

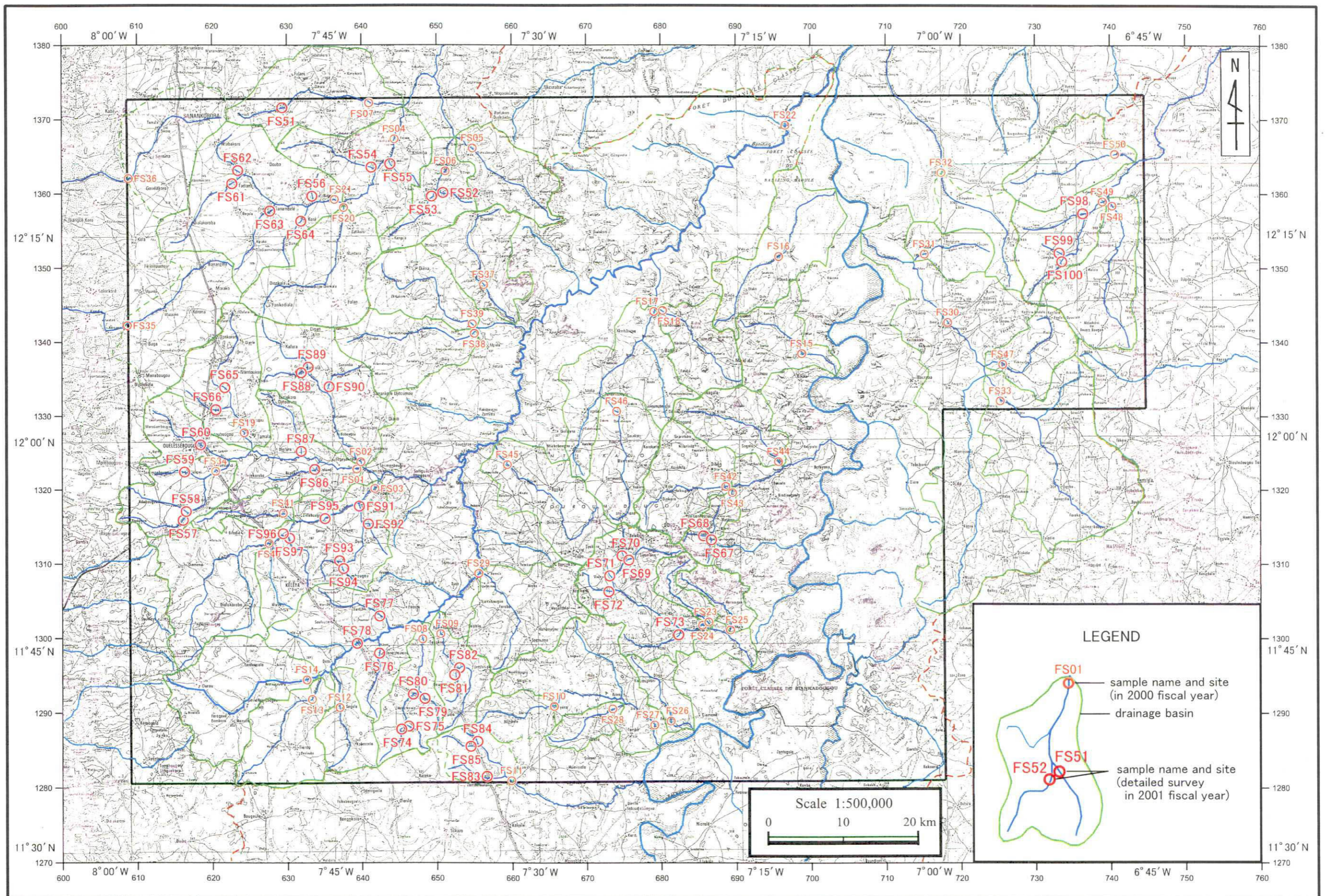


図 2-2-2 河床堆積物試料採取位置図

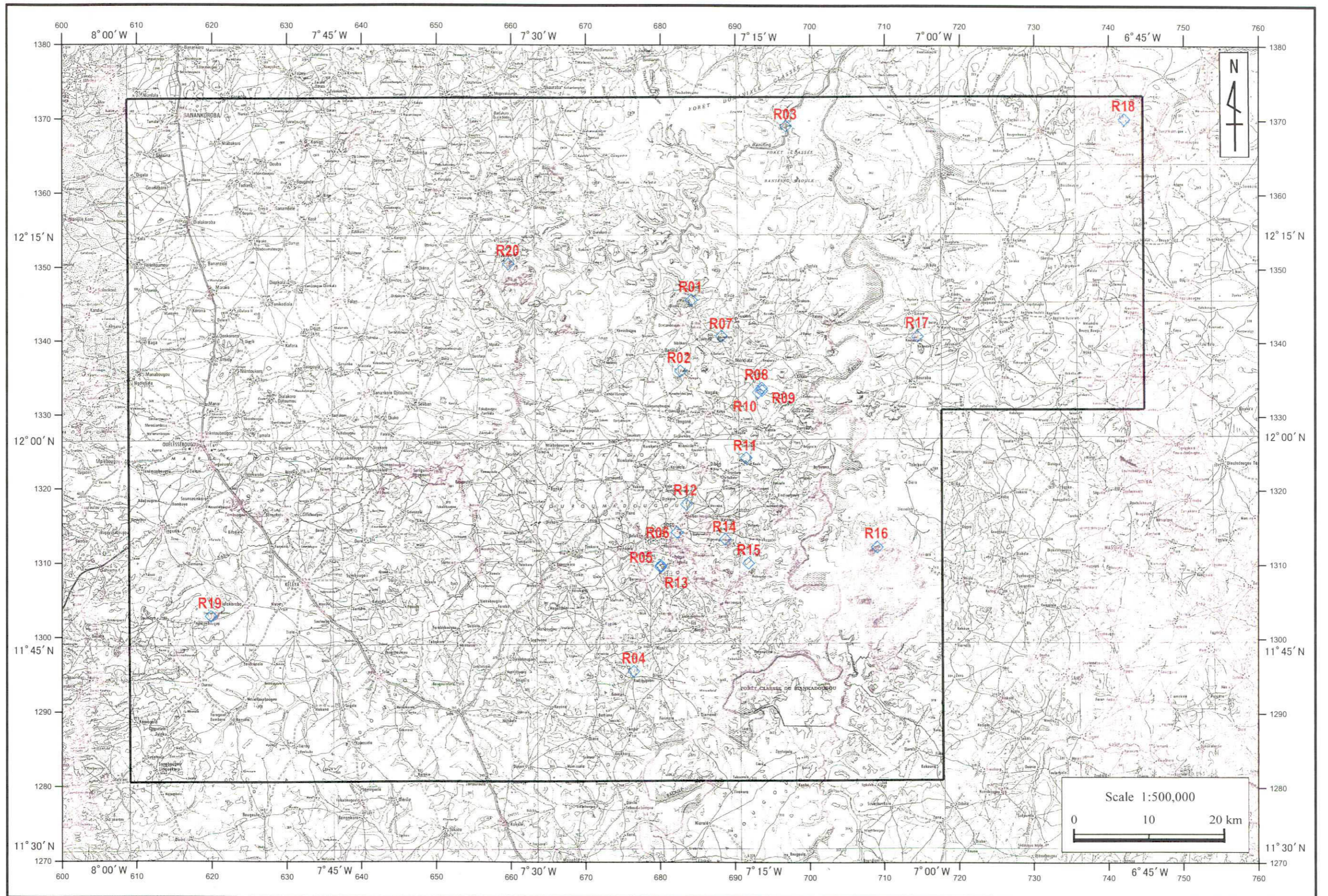


图2-2-3 岩石試料採取位置図

近傍の土壌を採取することで、地質区別の岩石本来のデータ解析を行い、同時に岩石と土壌との間の元素挙動を明らかにして、土壌および河床堆積物の評価を行った。

調査地域では岩石露頭が非常に少ないが、既往の資源開発協力基礎調査の結果や地形図判読結果から岩石が露出している地区を探し当てた。露頭ではなるべく新鮮な岩石を採取し、同時に近傍の土壌を 2・3 試料採取した。岩石は微粉碎し乾燥した後、土壌は乾燥し 80 メッシュで篩分けした後、それぞれ分析に供した。

(2) 化学分析

分析成分は 29 成分で、分析方法は次のとおりである。分析の検出限界値を表 2-2-1 に、分析結果を巻末資料 12 (土壌)、13 (河床堆積物) および 14 (岩石および近傍土壌) に示す。

Au : 乾式分析法 (Fire Assay)

CN : 分光分析法 (Spectrometer)

上記以外の 27 成分 (Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, Cd, Bi, As, Sb, Fe, Mn, Ba, Cr, V, W, Al, Mg, Ca, Na, K, Sr, Ti, Be, P, Hg)

: ICP 発光分析法 (Inductively Coupled Plasma)

Au はマリ国内の ABILAB 社の分析所、それ以外の元素はカナダの ALS-CHEMEX 本社の分析所でそれぞれ分析された。

2-2 調査結果

2-2-1 土壌 (全域)

化学分析値の基本統計量を表 2-2-1 に、相関係数を表 2-2-2 に示す。

全般に金属元素の含有量は低い。Au, As, 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。後述するように、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 1 および第 3 因子) について、等濃度線図または高濃度試料分布図を作成した。

- ・ Au : 26 試料が 50 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るが、試料分布はやや散点的である。まとまった分布は、調査地域北西端と北東端の堆積岩類分布域および中央部の塩基性火成岩類分布域に認められる (図 2-2-4, 図 2-2-8)。なお、第 1 年次調査結果で Au の高含有量試料がまとまって分布した地区での第 2 年次調査については 2-2-2 項で詳述する。
- ・ As : 14 試料が 30 ppm 以上の高い値を示す。これらは金の鉱化作用に関係すると考えられ、多くの試料は地域中央東部の Au の地化学異常帯や既知の金鉱化帯周辺に分布している (図 2-2-5)。しかし、As 高含有量試料がまとまって分布する地域南西端では、金鉱化作用は確認されていないことから、鉱化作用という点で注目に値する。
- ・ Cd : 6 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おり、試料分

表2-2-1 化学分析値の基本統計量

種類	成分名	単位	検出限界	検出限界以下の試料数	試料数 (n)	最大 (max)	最小 (min)	平均 (m)	標準偏差 (σ)	m+2σ
土 壤	Au	ppb	5	31	469	792	1	20	46	112
	Ag	ppm	0.5	354	146	2.0	0.5	—	—	—
	Cu	ppm	1	0	500	92	3	16	9	34
	Pb	ppm	2	19	481	10,000	2	49	472	992
	Zn	ppm	2	0	500	72	7	22	9	40
	Ni	ppm	1	0	500	67	1	20	8	36
	Co	ppm	1	3	497	45	1	10	7	23
	Cr	ppm	1	0	500	553	12	67	64	195
	Mn	ppm	5	0	500	3,200	65	255	213	680
	Fe	%	0.01	0	500	23.04	0.67	2.74	2.46	7.65
	Al	%	0.01	0	500	10.00	1.08	5.12	1.66	8.43
	Mg	%	0.01	0	500	0.49	0.03	0.10	0.04	0.18
	Ca	%	0.01	1	499	7.00	0.01	0.10	0.36	0.83
	K	%	0.01	0	500	1.94	0.04	0.35	0.15	0.65
	Na	%	0.01	17	483	0.42	0.01	0.05	0.04	0.13
	Ti	%	0.01	0	500	1.84	0.02	0.49	0.27	1.02
	As	ppm	5	322	178	187	5	—	—	—
	Ba	ppm	10	0	500	1,022	16	144	76	296
	Be	ppm	0.5	17	483	3	1	1.0	0.5	1.9
	P	ppm	10	2	498	1,560	10	177	163	503
	Sr	ppm	1	3	497	458	2	28	25	79
	V	ppm	1	0	500	568	8	68	71	210
	Mo	ppm	1	305	195	8	1	—	—	—
	Sb	ppm	5	417	83	20	5	—	—	—
	Cd	ppm	0.5	476	24	5	1	—	—	—
	Bi	ppm	2	438	62	20	2	—	—	—
	W	ppm	10	483	17	10	10	—	—	—
	Hg	ppm	0.01	362	138	0.08	0.01	—	—	—
CN	ppm	1	487	13	1	1	—	—	—	
河 床 堆 積 物	Au	ppb	5	3	97	79	1	14	12	39
	Ag	ppm	0.5	89	11	0.5	0.5	—	—	—
	Cu	ppm	1	0	100	44	5	16	7	30
	Pb	ppm	2	9	91	1,602	2	71	181	432
	Zn	ppm	2	0	100	59	6	21	8	37
	Ni	ppm	1	0	100	44	6	17	7	31
	Co	ppm	1	0	100	49	1	10	9	28
	Cr	ppm	1	0	100	167	22	55	32	119
	Mn	ppm	5	0	100	1387	85	286	220	726
	Fe	%	0.01	0	100	8.33	0.59	2.11	1.37	4.85
	Al	%	0.01	0	100	7.41	1.09	4.32	1.44	7.21
	Mg	%	0.01	0	100	0.19	0.01	0.08	0.03	0.15
	Ca	%	0.01	0	100	0.21	0.02	0.06	0.04	0.13
	K	%	0.01	0	100	0.80	0.13	0.40	0.12	0.64
	Na	%	0.01	0	100	0.38	0.02	0.06	0.05	0.16
	Ti	%	0.01	0	100	1.84	0.09	0.49	0.28	1.05
	As	ppm	5	47	53	33	5	9	5	19
	Ba	ppm	10	0	100	282	60	169	47	263
	Be	ppm	0.5	6	94	4.0	0.5	1.4	0.6	2.6
	P	ppm	10	0	100	580	40	186	101	388
	Sr	ppm	1	0	100	66	9	27	8	43
	V	ppm	1	0	100	179	10	56	35	125
	Mo	ppm	1	61	39	4	1	—	—	—
	Sb	ppm	5	70	30	20	5	—	—	—
	Cd	ppm	0.5	92	8	4	1.0	—	—	—
	Bi	ppm	2	87	13	20	2	—	—	—
	W	ppm	10	99	1	10	10	—	—	—
	Hg	ppm	0.01	36	64	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03
CN	ppm	1	96	4	2	1	—	—	—	

表2-2-2 化学分析値の相関係数（土壌）

	Au	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cr	Mn	Fe	Al	Mg	Ca	K	Na	Ti	As	Ba	P	Sr	V	
Au	1																				
Cu	-0.04	1																			
Pb	-0.01	-0.04	1																		
Zn	-0.06	0.54	-0.03	1																	
Ni	-0.01	0.51	-0.07	0.48	1																
Co	-0.07	0.36	-0.06	0.55	0.52	1															
Cr	-0.01	0.59	-0.02	0.34	0.36	0.32	1														
Mn	-0.03	0.43	0.00	0.33	0.19	0.55	0.42	1													
Fe	-0.04	0.56	-0.01	0.35	0.33	0.34	0.83	0.49	1												
Al	-0.03	0.45	-0.09	0.49	0.74	0.46	0.32	0.11	0.41	1											
Mg	-0.05	0.36	-0.01	0.57	0.51	0.42	0.11	0.20	0.16	0.35	1										
Ca	-0.01	0.05	0.00	0.22	-0.05	-0.02	-0.02	0.09	-0.03	-0.08	0.22	1									
K	-0.05	0.06	-0.07	0.38	0.23	0.25	-0.16	0.04	-0.15	0.27	0.48	0.06	1								
Na	0.00	0.07	-0.04	0.29	0.20	0.28	0.00	0.03	0.00	0.21	0.34	0.02	0.52	1							
Ti	-0.11	0.28	-0.06	0.52	0.45	0.75	0.25	0.24	0.27	0.58	0.28	0.00	0.30	0.34	1						
As	-0.02	0.39	-0.01	0.29	0.17	0.09	0.37	0.16	0.47	0.25	0.17	-0.01	0.07	0.03	0.02	1					
Ba	-0.04	0.14	-0.05	0.45	0.18	0.30	-0.03	0.31	-0.03	0.15	0.51	0.35	0.81	0.33	0.20	0.09	1				
P	-0.07	0.35	0.00	0.58	0.11	0.21	0.33	0.32	0.35	0.11	0.35	0.52	0.11	0.10	0.25	0.21	0.37	1			
Sr	-0.02	0.12	-0.03	0.38	0.09	0.08	-0.01	0.12	-0.01	0.07	0.39	0.91	0.34	0.16	0.12	0.08	0.62	0.59	1		
V	-0.06	0.63	-0.01	0.40	0.33	0.37	0.89	0.47	0.93	0.40	0.15	-0.01	-0.13	0.03	0.33	0.46	-0.02	0.38	0.00	1	

表2-2-3 化学分析値の相関係数（河床堆積物）

	Au	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cr	Mn	Fe	Al	Mg	Ca	K	Na	Ti	As	Ba	Be	P	Sr	V	
Au	1																					
Cu	-0.12	1																				
Pb	-0.11	0.22	1																			
Zn	-0.13	0.69	0.10	1																		
Ni	-0.07	0.72	0.01	0.86	1																	
Co	-0.01	0.45	0.04	0.75	0.72	1																
Cr	-0.11	0.59	0.04	0.59	0.69	0.61	1															
Mn	-0.14	0.36	0.09	0.63	0.55	0.70	0.45	1														
Fe	-0.20	0.60	0.16	0.64	0.64	0.61	0.84	0.62	1													
Al	-0.11	0.58	0.03	0.74	0.83	0.47	0.49	0.36	0.48	1												
Mg	-0.16	0.69	0.07	0.85	0.81	0.58	0.50	0.55	0.52	0.75	1											
Ca	-0.16	0.40	0.03	0.62	0.48	0.44	0.30	0.54	0.40	0.32	0.64	1										
K	-0.03	0.40	0.06	0.69	0.59	0.48	0.28	0.40	0.31	0.62	0.80	0.44	1									
Na	-0.09	0.27	-0.03	0.41	0.37	0.40	0.27	0.27	0.24	0.21	0.51	0.55	0.40	1								
Ti	-0.14	0.24	0.18	0.62	0.52	0.71	0.46	0.62	0.46	0.43	0.50	0.41	0.47	0.29	1							
As	-0.19	0.32	0.20	0.35	0.30	0.23	0.46	0.30	0.60	0.28	0.30	0.19	0.20	0.14	0.27	1						
Ba	-0.04	0.50	0.04	0.70	0.60	0.48	0.25	0.48	0.30	0.62	0.80	0.60	0.85	0.32	0.37	0.19	1					
Be	-0.06	0.32	0.05	0.49	0.43	0.30	0.24	0.23	0.22	0.59	0.45	0.23	0.31	0.24	0.44	0.14	0.25	1				
P	-0.10	0.36	0.10	0.67	0.47	0.44	0.43	0.43	0.47	0.43	0.44	0.62	0.38	0.25	0.46	0.21	0.48	0.26	1			
Sr	-0.11	0.44	0.02	0.57	0.52	0.26	0.17	0.35	0.25	0.58	0.74	0.75	0.61	0.59	0.30	0.17	0.71	0.42	0.41	1		
V	-0.23	0.55	0.16	0.69	0.68	0.63	0.88	0.60	0.93	0.55	0.56	0.40	0.38	0.27	0.63	0.55	0.29	0.34	0.53	0.26	1	

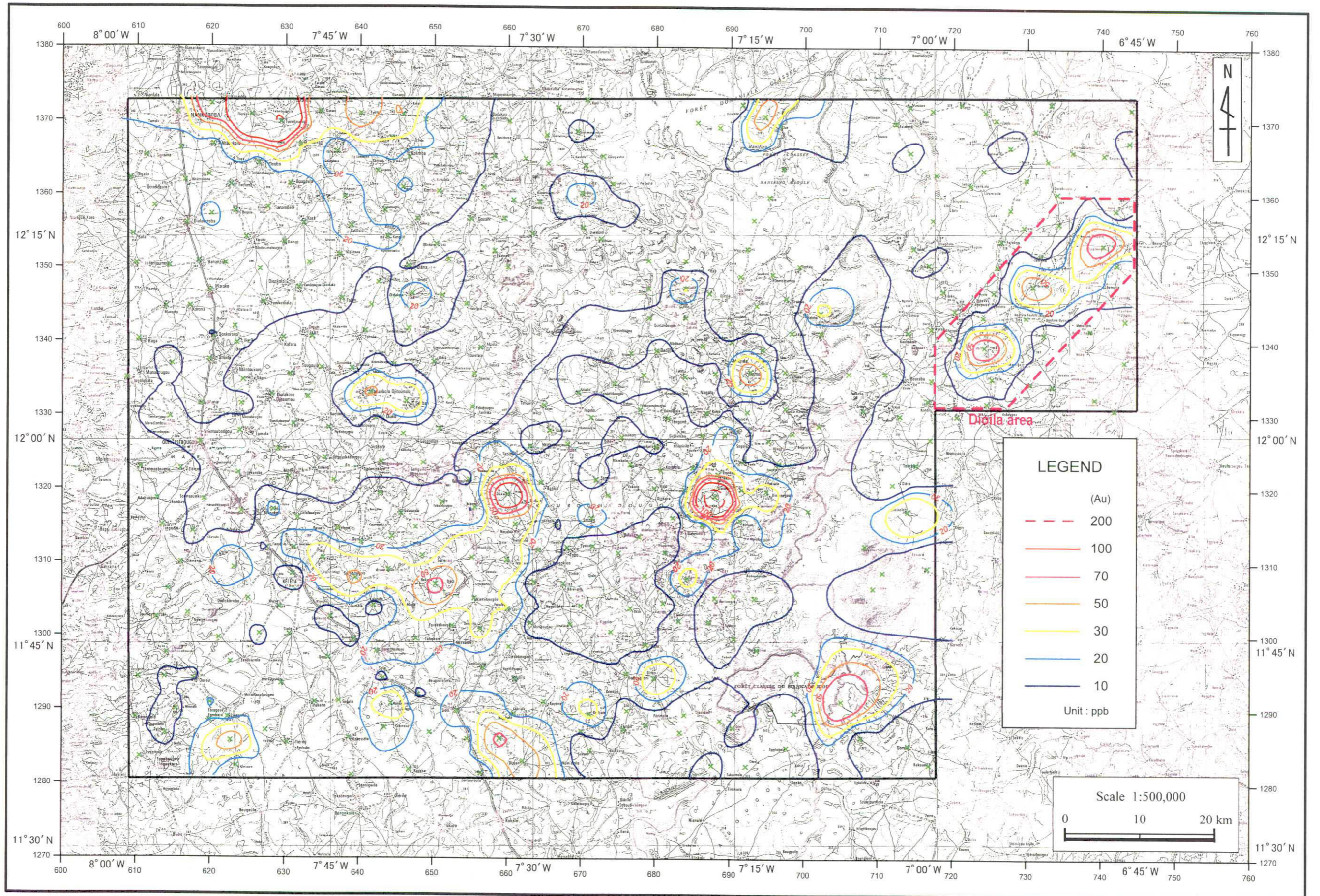


図2-2-4 Au等濃度線図 (土壤全域)

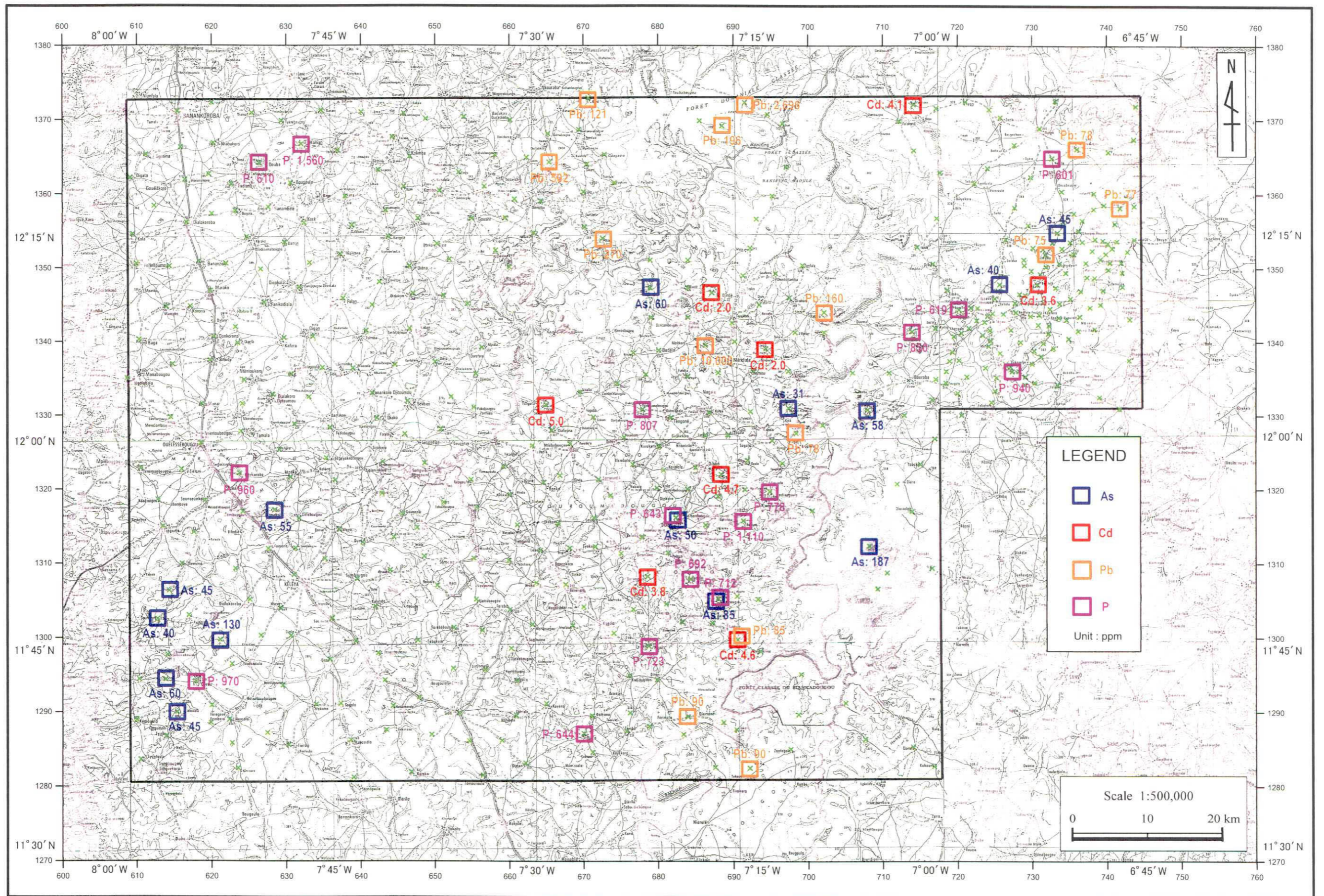


图2-2-5 As, Cd, Pb, P 高濃度試料分布図 (土壤全域)

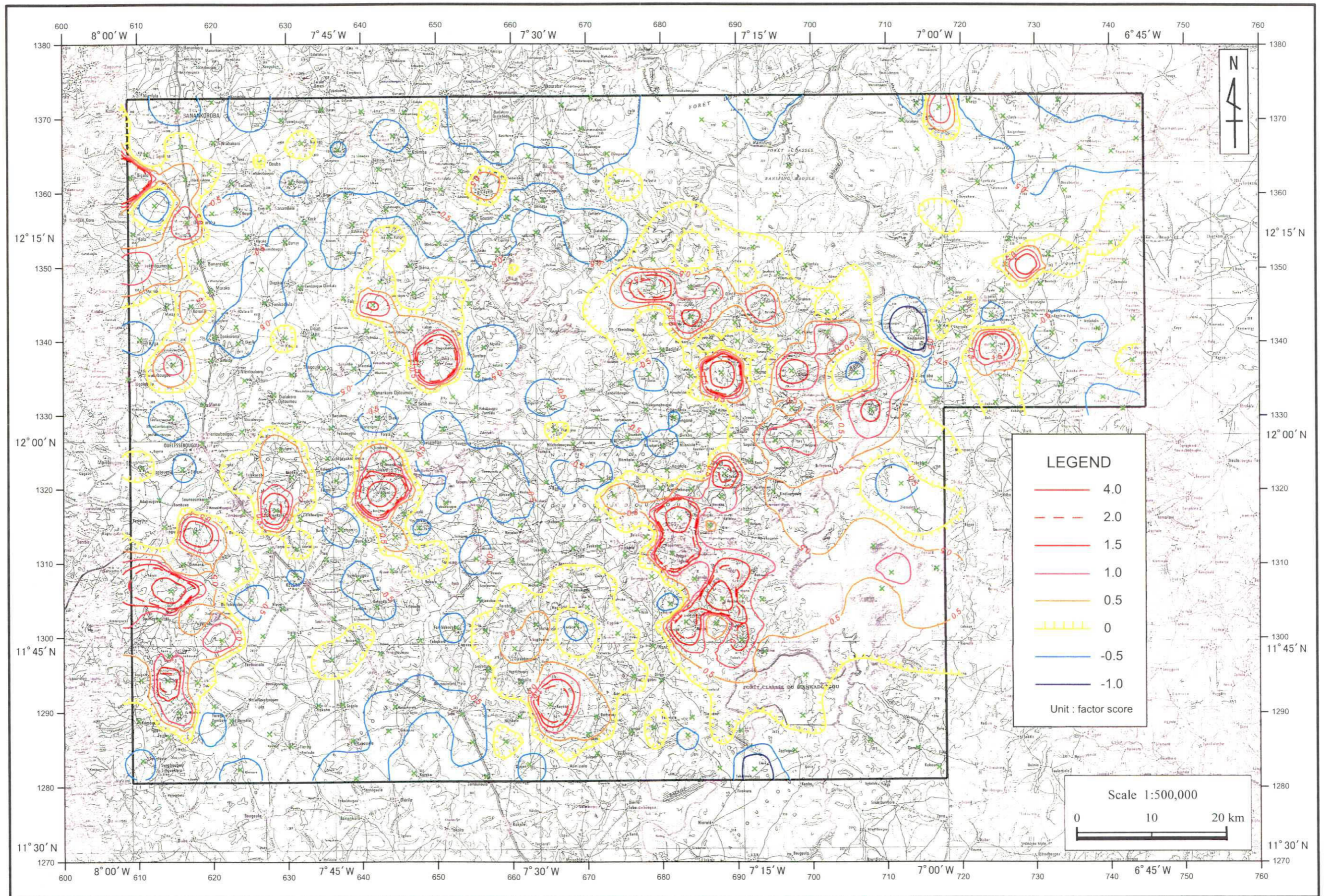


図2-2-6 第1因子得点等濃度線図(土壤全域)

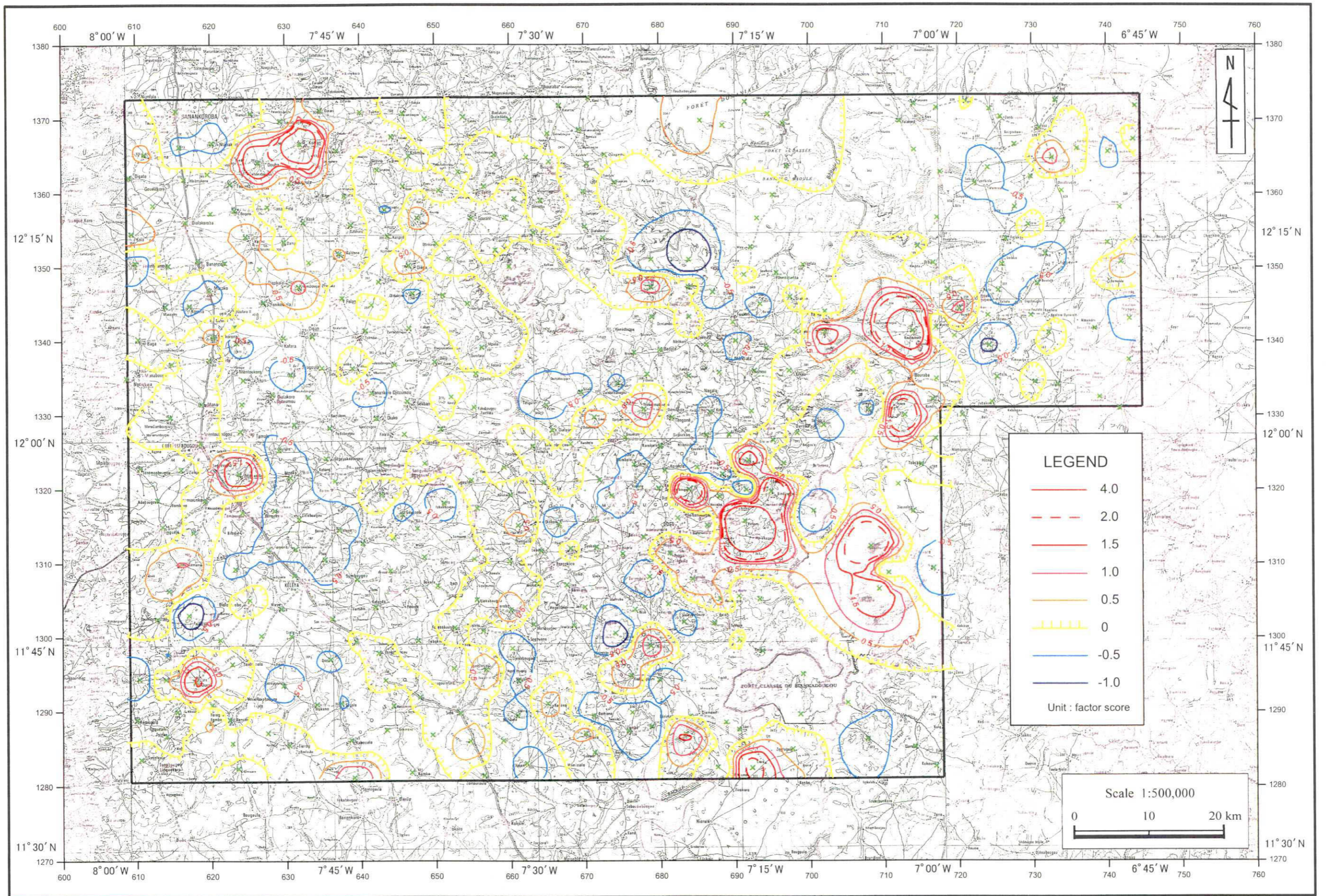


図2-2-7 第3因子得点等濃度線図（土壤全域）

布と地質・地形との関連は認められず、社会的要因と直接結びつくような分布でもない(図 2-2-5)。

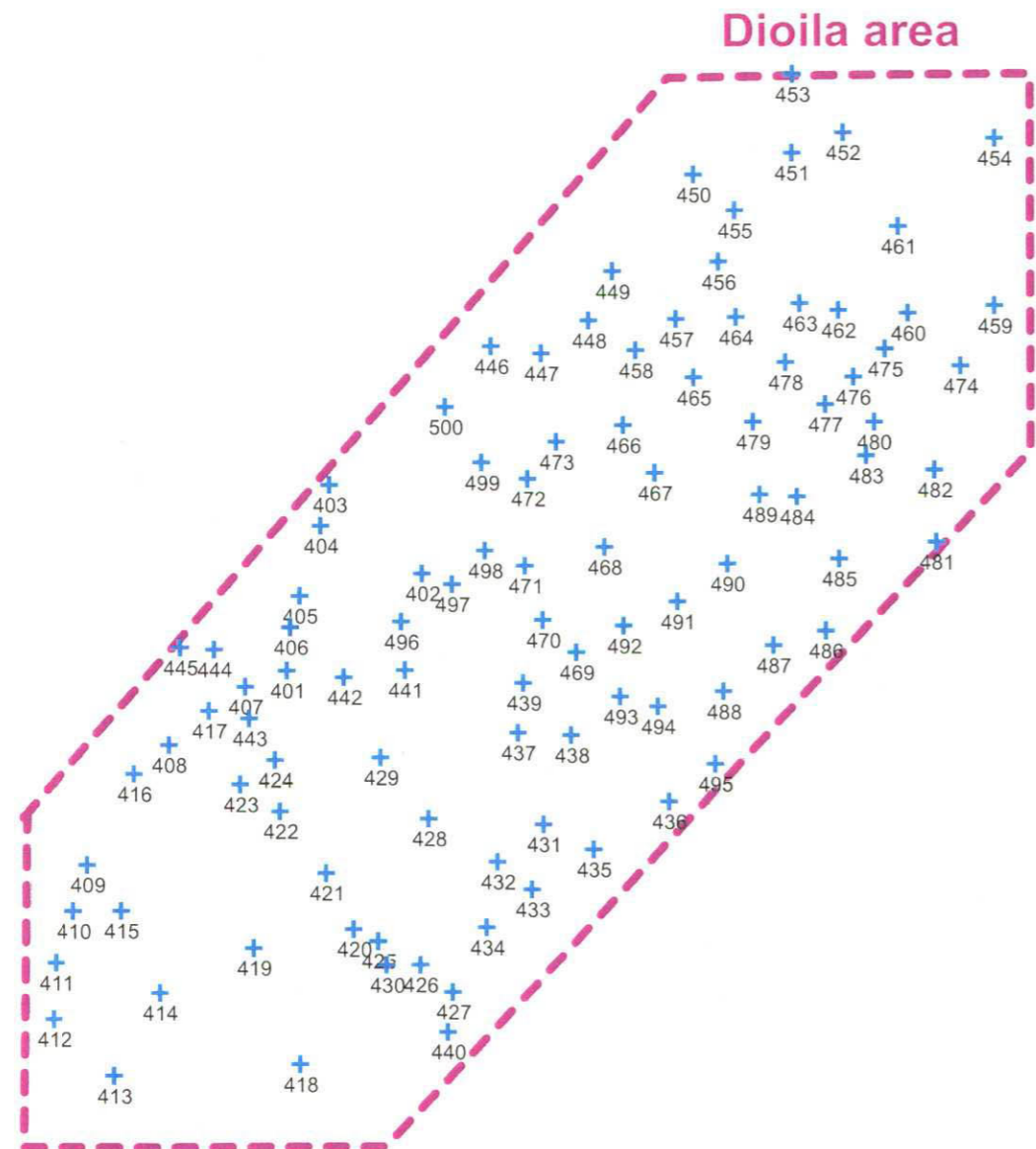
- ・ Pb : 14 試料が 75 ppm 以上の高い値を示す。これらの試料は地域北東部と南東部の比較的標高の低い所に分布しており(図 2-2-5)、花崗岩質岩類および堆積岩類に起因すると考えられる。
- ・ P : 16 試料が 600 ppm 以上の高い値を示す。これらの試料は地域中央東部および西端部に散在しており、ペグマタイトのような花崗岩質岩類に起因すると考えられる(図 2-2-5)。

Ag, Mo, Sb, Cd, Bi, W, Hg, CN の 8 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。Be では分析値の種類が 3 種類しかない。このため、これら 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、多変量解析の際には、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 : V, Fe, Cr, Cu, Mn, As が正に高く寄与しており、負の高い寄与成分はない。第 1 因子はラテライト化を強く受けた土壤層準(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東部や西端部にまとまって分布する(図 2-2-6)。これらの試料分布は Birrimien 累層群の変成岩と調和的にみえる。また、これらの元素は塩基性火成岩類に豊富に含まれる。したがって、第 1 因子はラテライト化作用だけを表しているのではなく、岩相を含めた複合的な指標となっている可能性がある。
- ・ 第 2 因子 : K, Co, Ti, Ni, Al, Zn, Mg, 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 2 因子は主に塩基性火成岩類を表す。正の因子得点の高い試料は主に地域東部の Baoulé 川沿いに分布しており、この分布は塩基性火成岩類の分布と調和的である。
- ・ 第 3 因子 : Sr, Ca, P, Ba が正に高く寄与しており、負の高い寄与成分はない。第 3 因子は花崗岩質岩類を表す。正の因子得点の高い試料は主に地域中央東部と西端部にやや散点的に分布しており、因子得点が正の試料は花崗岩類の分布と調和する(図 2-2-7)。
- ・ Au と Pb は相関係数からも明らかなように、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。

2-2-2 土壤 (Dioila 地区)

第 1 年次の土壤調査結果により、調査地域の北東部(Dioila の南南西約 40km)にまとまった Au の地化学異常が確認された(図 2-2-4)。本年度はこの Au 地化学異常帯の詳細な調査を目的として、この異常帯を包括する面積 456km² の地区を設定し、100 試料の土壤を採取し解析を行った。本地区を Dioila 地区と仮称する。試料採取位置および Au 等



Sample location in 2001

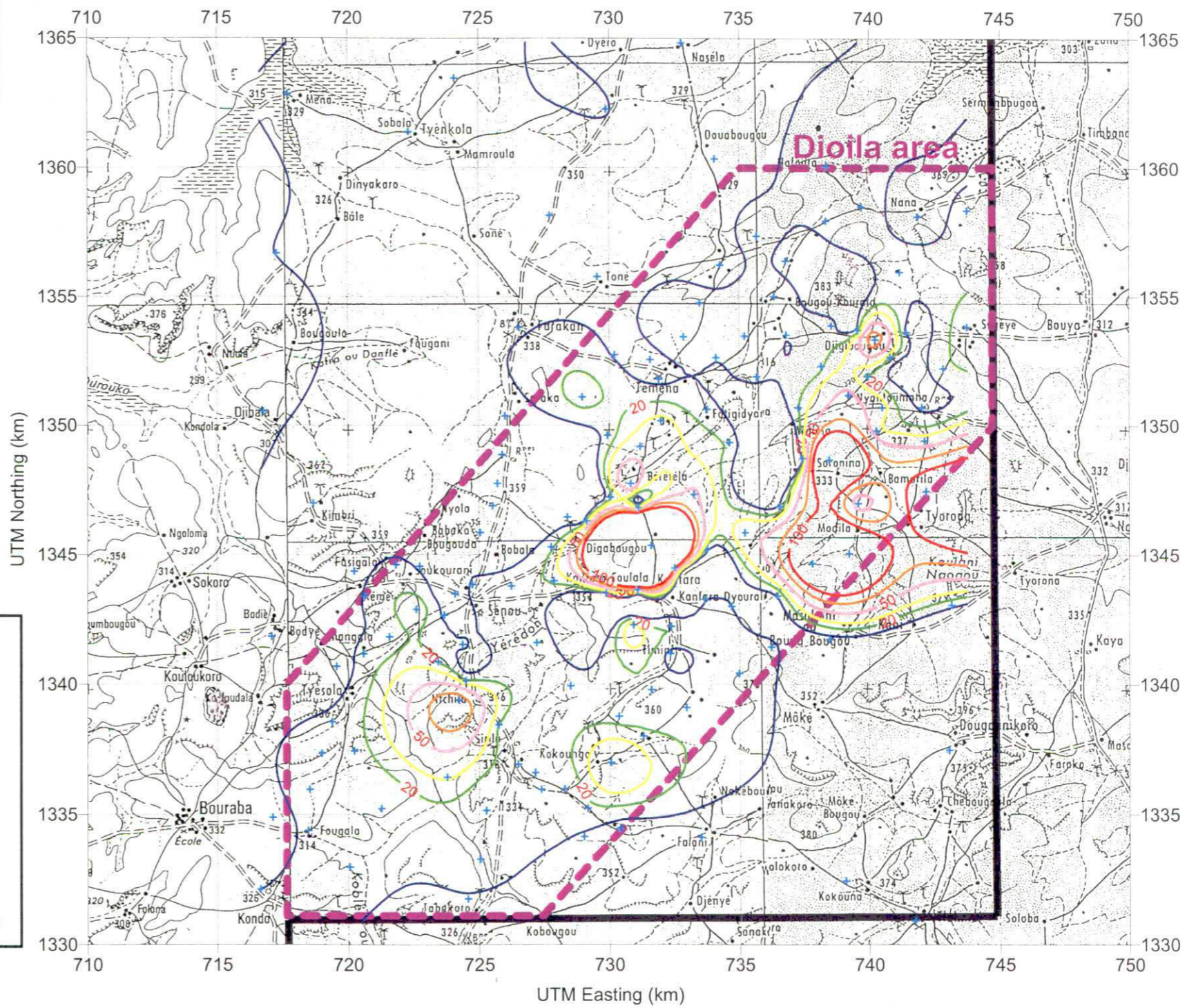
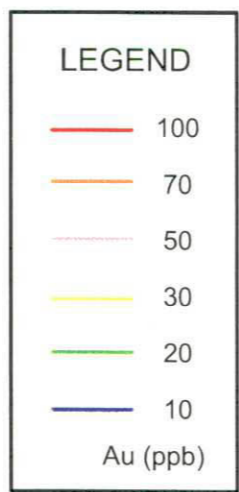


图2-2-8 Au等浓度线图 (土壤Dioila地区)