

第3章 探查方法

第3章 探査方法

3.1 既設井調査

クエッタ、カラート両地域において既設井調査を行い、井戸構造、揚水量、水位低下量等のデータを収集した。これは地下水の賦存状態を明らかにするため、トリチウム測定の実行に用いると共に、空中ガンマ線測定による地下水脈の検出基準値の設定、検出ガンマ線強度から産水率を求める方式の基礎的データとする。

事前調査を実施した既設井の位置、並びにそれらの結果をとりまとめて図3.1、図3.2と表3.1に示す。これによれば、井戸の位置によって、水理学的特性が著しく異なっている。よい水理学的特性を示す井戸は地下水脈の中に存在している。

3.2 空中ガンマ線探査

3.2.1 空中探査のフロー

探査から結果を得るまでの空中ガンマ線探査のフローを図3.3に示した。

また、現地における地区単位の空中ガンマ線探査のフローは、図3.4のようになる。

現地探査は事前探査と本探査からなる。

事前探査は次節に述べる内容で、選択ガンマ線の選定と産水率の測定である。

本探査では、現地でガンマ線測定値が完全に記録されたかを各探査測線ごとに探査終了直後、測定値をプリントアウトして、測定の結果についてチェックを行い、完全でない場合には再測定を実施した。

3.2.2 選択ガンマ線の選定と産水率の測定

空中探査で検出するガンマ線のエネルギーの設定は、地区の地質構造を勘案して、基盤の上部に堆積する第四紀並びに基盤の開口亀裂系を対象にして、上空において事前測定を実施した。

その結果、検出ガンマ線は150KeV-3200KeVのエネルギーのうち、特に地下水の産水率と相関の強い1CHのエネルギーのガンマ線が空中探査の検出ガンマ線として極めて有効であることを確認した。また、2CH、3CHのガンマ線も補助的に利用できることが明らかとなったので、本調査では1CHのガンマ線をメインとし、補助的に2CH、3CHのガンマ線を同時に測定した。

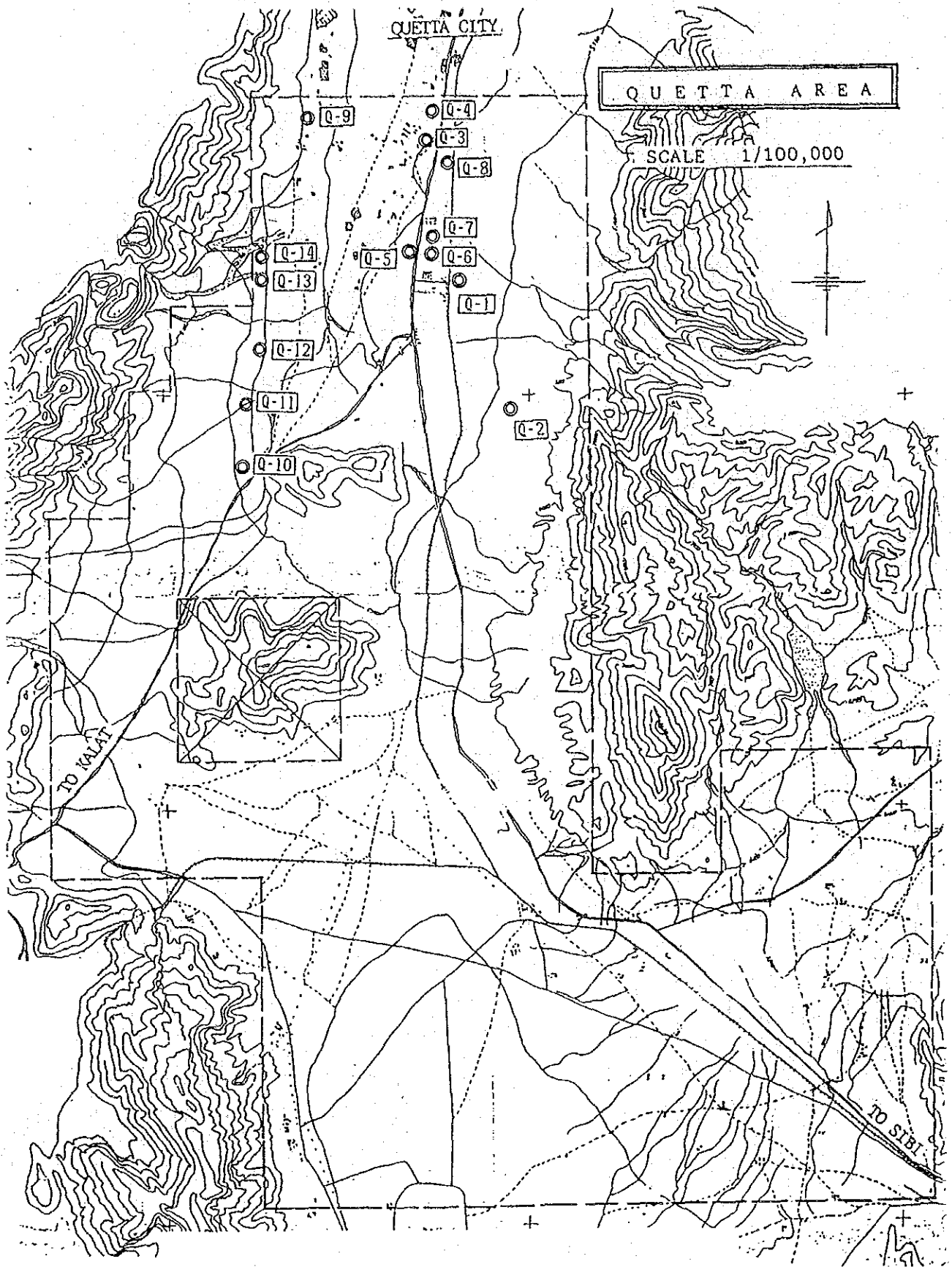


図 3.1 既設井調査位置図 クエッタ地区

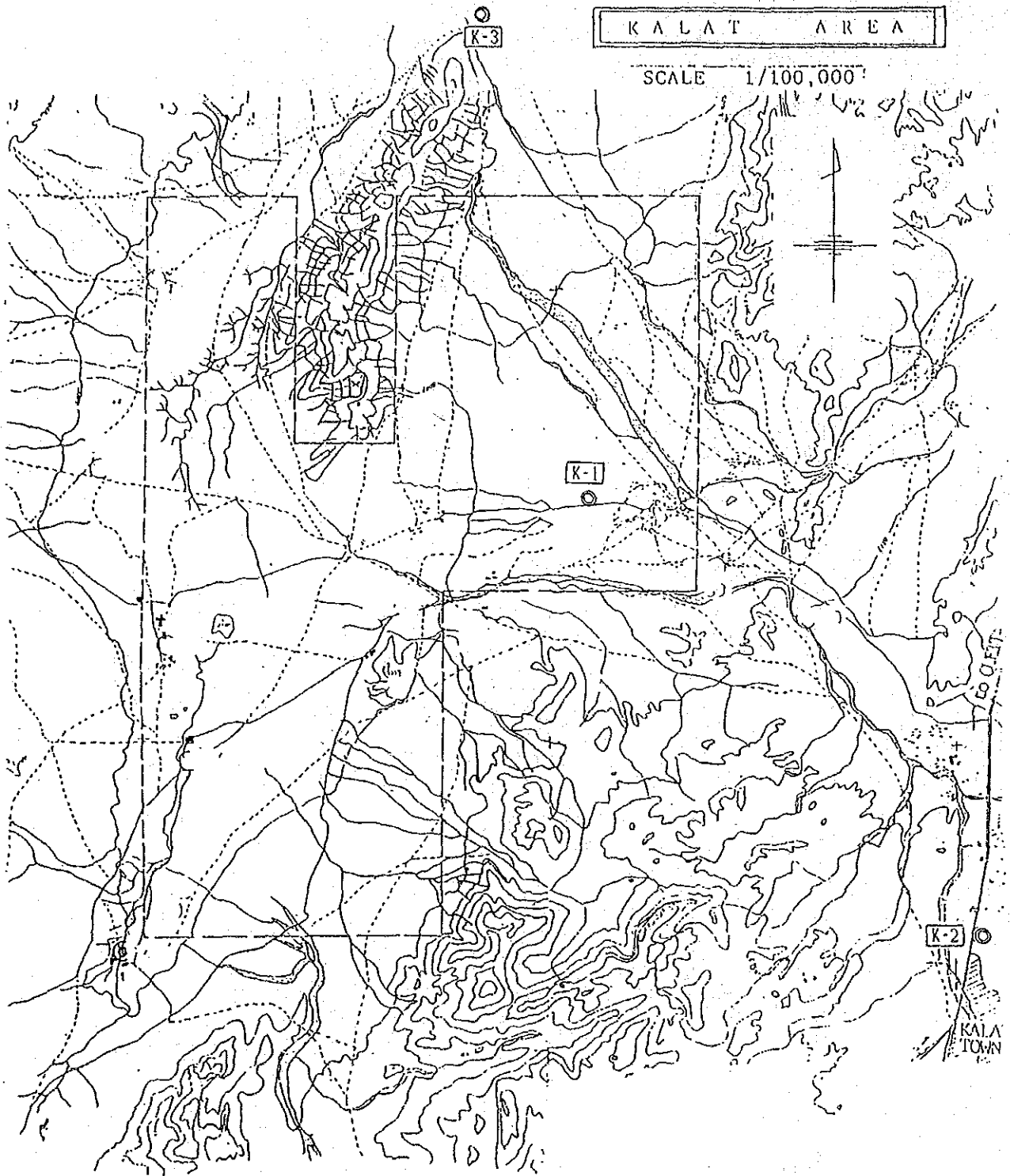


図 3.2 既設井調査位置図 カラート地区

表 3.1 既設井の調査表

QUETTA AREA

Well No.	Total Depth (m)	Dia Housing Blind (cm)	Screen			Static Water Level (m)	Discharge (m ³ /min)	Draw-down (m)
			Dia (cm)	Setting (m)	Length (m)			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
MP-2-6	95.7	25.4	25.4	50.0-95.7	45.7	38.1	1.514	39.6
MP-2-34	297.5	25.4	25.4	135.6-145.4 239.9-249.6 259.7-291.4	51.2	38.4	0.454	62.2
QV-3-1	144.5	20.3	20.3	77.4-144.5	67.1	21.9	0.625	29.0
QV-3-11	101.2	30.5			34.1	18.3	0.379	24.4
QV-4-64	92.4	20.3	20.3	74.1-92.4	18.3	21.3	0.303	30.5
QV-4-103	144.2	25.4	25.4	27.4-45.7 51.8-71.6 88.4-96.0 115.8-121.9 137.2-141.1	55.8	27.4	0.439	13.7
QV-4-104	95.7	25.4	25.4	27.4-32.0	39.3	27.4	0.568	45.7
QV-4-109	-	25.4		Data not available		28.0	0.265	Data not available
CP-2-7	103.3	25.4	20.3	42.4-48.5 53.6-68.9 77.1-80.2 95.4-98.5	27.4	13.2	0.946	20.8
CP-2-32	122.5	25.4	25.4	82.3-117.3	35.1	56.7	0.556	15.8
CP-2-34	197.2	30.5	30.5/20.3	64.9-125.0 164.0-193.9	105.8	44.5	1.931	29.9
CP-2-35	195.7	30.5	30.5/20.3	65.8-103.9 125.0-192.9	106.1	45.7	1.760	46.0
CP-2-36	193.2	30.5	20.3	110.9-128.9 133.2-157.3 158.8-190.2	73.5	65.8	1.325	49.8
CP-2-37	195.4	30.5	20.3	73.5-127.4 132.9-138.4 142.6-184.7 188.7-194.8	107.9	54.3	1.696	4.3

KALAT AREA

Well No.	Total Depth (m)	Dia Housing Blind (cm)	Screen			Static Water Level (m)	Discharge (m ³ /min)	Draw-down (m)
			Dia (cm)	Setting (m)	Length (m)			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
UN-KL-4	205.7	20.3	20.3	115.8-103.6 140.2-152.4 161.5-185.9	15.2	54.6	0.102	9.8
UN-KL-5	116.4	20.3	20.3	27.4-47.2 53.3-64.0	19.8	13.8	0.379	1.5
UN-KL-3	169.8	20.3	20.3 10.2	61.0-77.7 100.6-137.2	16.8 36.6	47.3	0.485	4.3

出典: WAPDA

図 3.3 空中ガンマ線探査のフロー

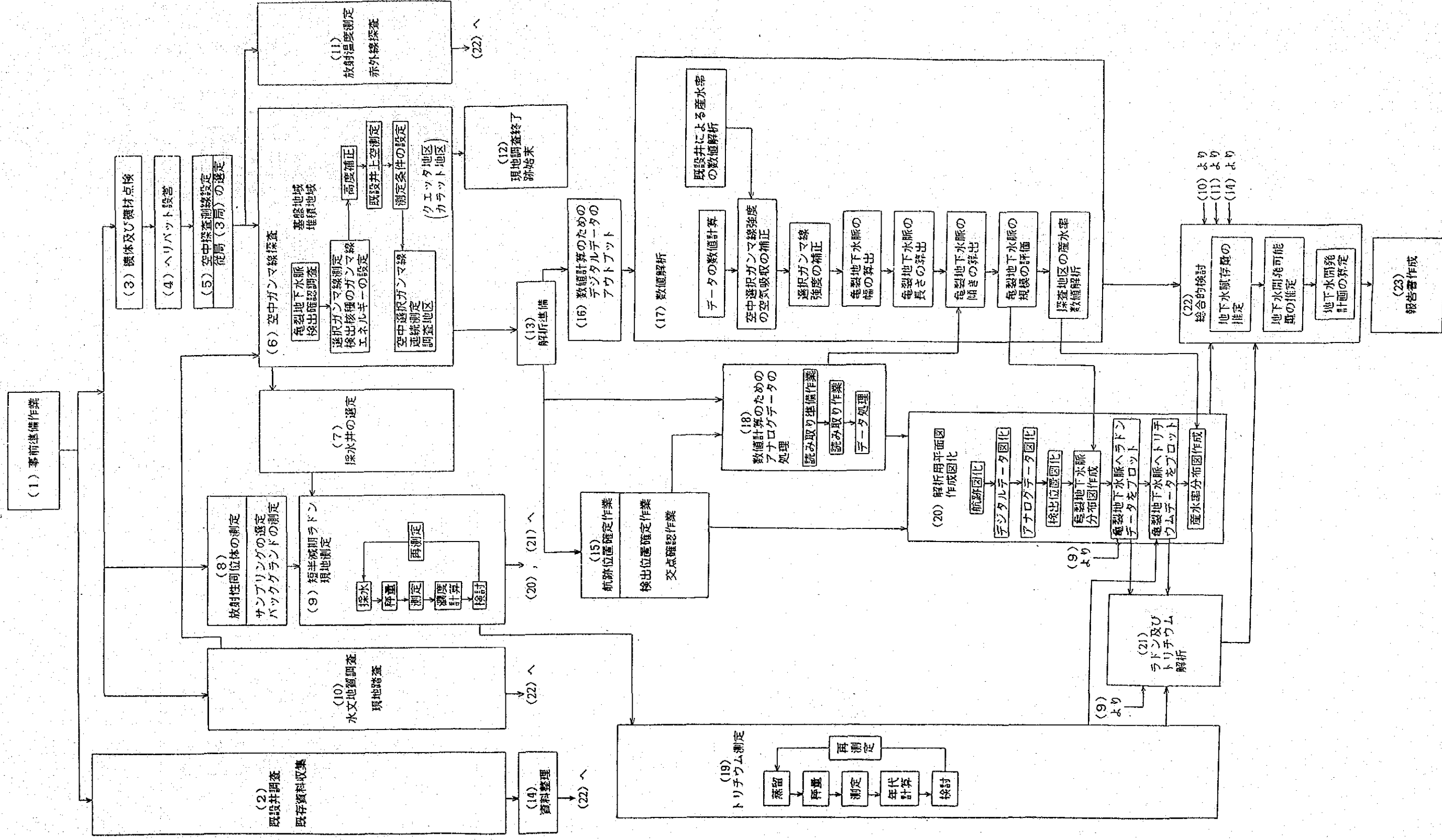
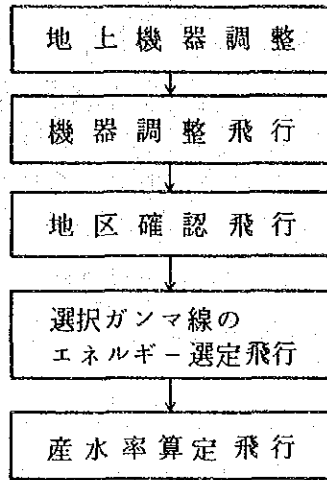
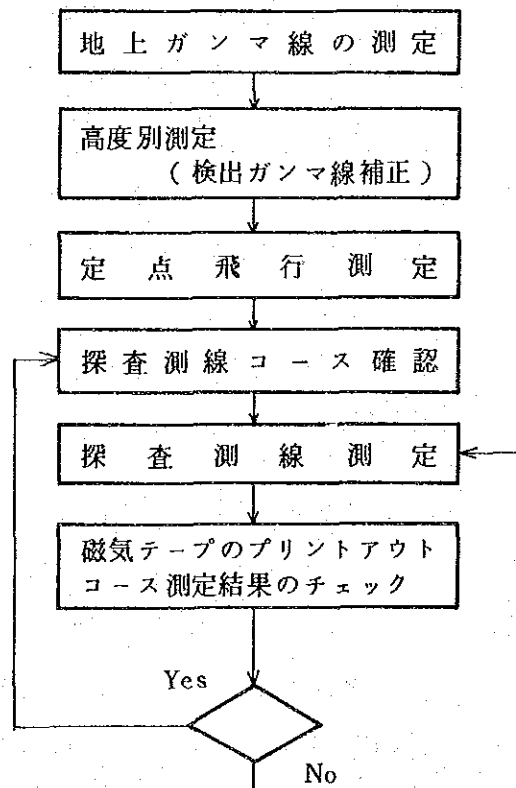


図 3.4 地区単位の空中探査実施のフロー

1. 事前探査（地区単位）



2. 本探査



産水率算定飛行は、空中ガンマ線強度から産水率を算出するための基礎調査で、産水率を算出した既設井の上空においてガンマ線測定を実施し、ガンマ線強度と産水率との関係を求めた。ここで言う産水率（比湧出量）とは、揚水水位が安定した時点で、揚水量（ m^3/d ）を井戸の水位低下（ m ）で除した値で、 $m^3/d/m$ の単位をもつ。

ガンマ線強度と産水率との関係は、ICHのガンマ線が最も高い正の相関（相関係数QUETTA 88%、KALAT 99.5%）を示した。

3.3 放射性同位体の測定

地下水の流動、並びに地下水開発可能性を明らかにするため、地下水中に含まれる短半減期のラドン（ ^{222}Rn ）、中半減期のトリチウム（ 3H ）濃度を測定した。

3.3.1 ラドン

測定用試料水の採取は、調査地区内外から取水可能なものを選定して行った。その結果クエッタ地区ではオープンウエル14ヶ所、管井21ヶ所、湧泉1ヶ所、そのほか、8月の降水により一時的に形成された皿池の湖水1ヶ所で合計37ヶ所から試水を得ることができた。

一方、カラート地区では実用井が少ないことなどから、オープンウエル12ヶ所、管井1ヶ所、湧泉2ヶ所で計15ヶ所となった。

ラドンは半減期が3.825日と短いこと、その形態がガス体であることから、現場で化学処理を行い、速やかに測定用25mlのガラスバイアルに密封し、ヘリパッドの分析室で測定した。測定は可搬式液体シンチレーション・カウンタ（S-1287B）を用い、10分間の2回繰り返し測定とした。

両地区における試料水の採取位置は図3.5、図3.6に示した。

3.3.2 トリチウム

測定試料水の採取位置はクエッタ、カラート両地区ともラドン採水位置と同様であり、クエッタ地区37ヶ所、カラート地区15ヶ所である。

採水はラドン試料水の採取と同時に行い、500mlを取り、ポリ容器に密封保存した。

トリチウムは半減期が12.262年と長いことから国内に持ち帰った後、測定した。

測定はまず、採取した500ml全量をガラス蒸留器で蒸留し不純物を除いた。その後この中から40mlを正確に秤量し、シンチレーターであるアクアゾルII 60mlと混合サンプル

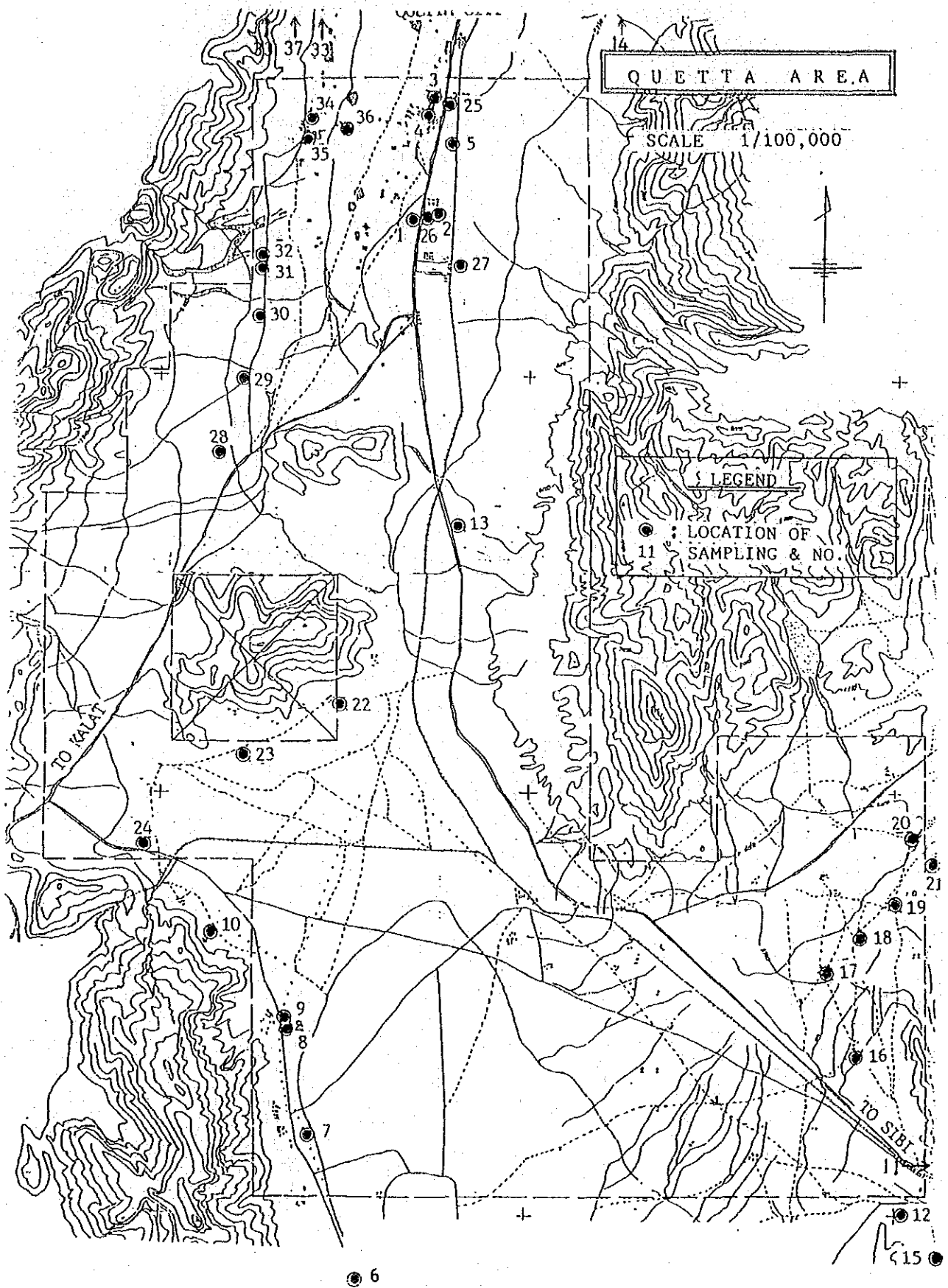


図 3.5 放射性同位体の採水位置 クエッタ地区

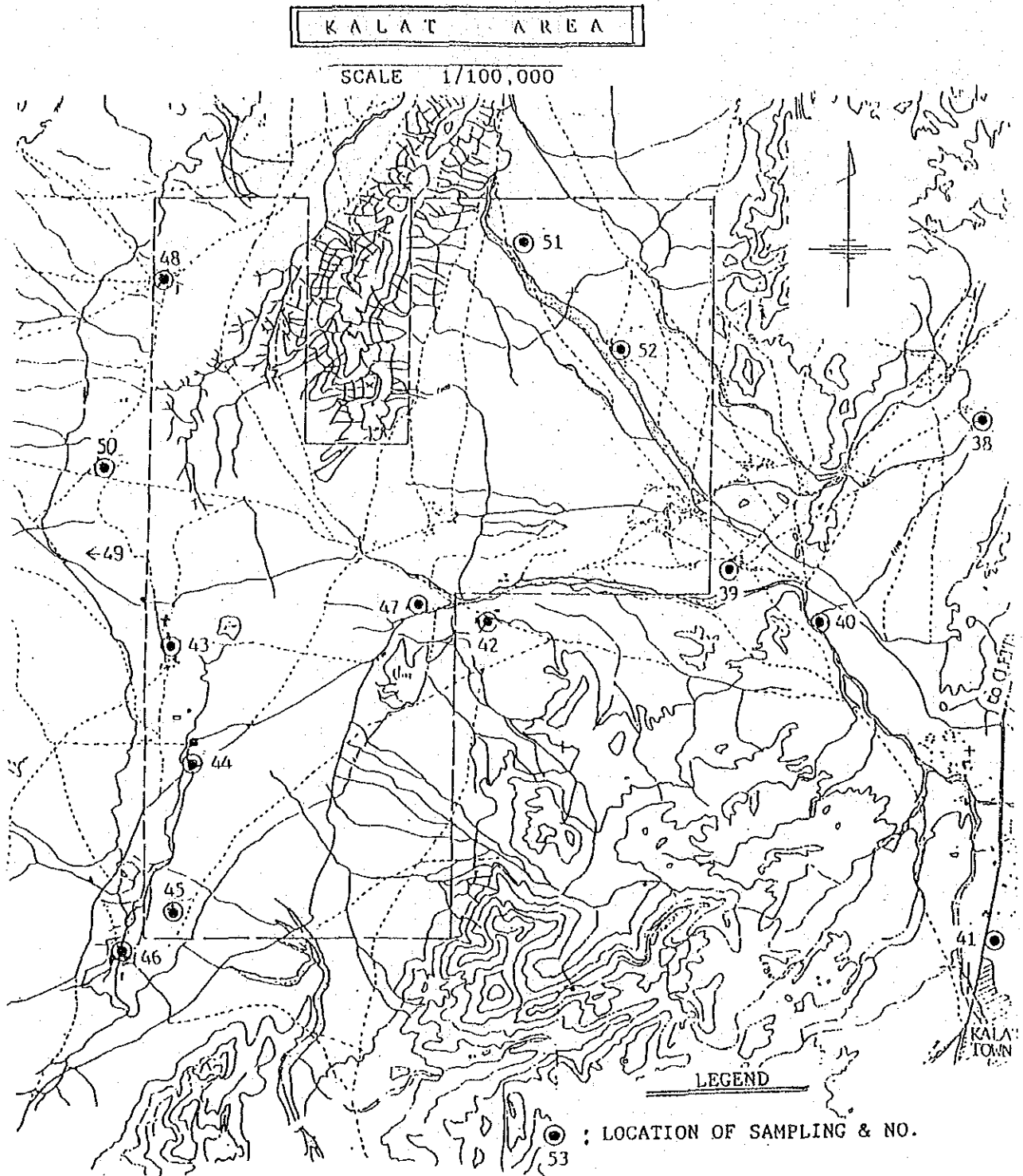


図 3.6 放射性同位体の採水位置 カラート地区

とした。^{*1}

サンプルは24時間冷暗所に放置した後、液体シンチレーション・カウンタで測定した。計測は100分間の繰り返し測定とし、より正確なデータを得た。

*1 川崎宏直、木村重彦“谷田部降水のトリチウム濃度”、農土試技報A、/624, P 21, 1981

第4章 解析法

第4章 解 析 法

4.1 空中ガンマ線探査

4.1.1 数値解析

数値解析は最初に、空中選択ガンマ線強度の測定値(表4.1に一例を示す)の補正を行った。ガンマ線は対地高度100mを基準にして測定しているので、地形の起伏によって基準高度を上下したのものについては、電波高度計の対地高度を用いてガンマ線計数を補正した。その補正係数は高度別測定の数を用いた。

4.1.2 地下水脈の検出とその規模の評価

飛行航跡を測線のビデオ映像で確認し、選択ガンマ線の強度補正を行った後、次の数値解析を行い、地下水脈を検出した。

地下水脈の規模が大きく、かつ産水率が大きくなるほどガンマ線強度は比例的に強く検出されるので^{*1}、3つの検出ガンマ線の分布曲線を抽出し、環境ガンマ線を除去したピーク強度、光電面積、検出幅、検出位置、3種類のガンマ線の強度分布比をコンピュータで計算し、最後に地下水脈の規模の大きいものからA, B, C, Dの4ランクに分類した。その判定結果の一例を表4.2に示した。

表の最後の記号が総合評価を示している。総合評価がA, Bランクのものは地下水脈として規模が大きく、産水率も大きいので、大規模な地下水開発が可能と判定される。これに対しC, Dランクのものは地下水脈の規模が小さく、産水率も小さくなるので、地下水利用は限定して考える必要がある。

これらの検出点の総合評価を1/50,000地形図上にプロットし、連続性のある地下水脈を求めた。また、ある範囲に限定された検出されたブロック状のものは、ここでは地下水帯として区分した。

*1 落合敏郎“RI利用法”、地下水ハンドブック、建設産業調査会、P1163、1979

表 4.1 空中選択ガンマ線の測定値

Area :QUETTA-A EW-1			Date :1/10/86			
Course No.	Time (sec.)	1ch (cps)	2ch (cps)	3ch (cps)	0ch (cps)	Altitude (ft)
2	1	194	38	23	293	484.6
2	2	214	51	14	278	504.2
2	3	213	63	19	275	505.0
2	4	180	50	31	290	492.2
2	5	201	42	23	279	474.0
2	6	187	48	27	284	427.3
2	7	201	50	30	296	358.9
2	8	188	59	31	285	312.3
2	9	187	54	22	299	301.8
2	10	184	65	25	277	322.8
2	11	191	48	29	279	347.2
2	12	195	43	26	275	328.6
2	13	205	71	33	280	326.7
2	14	221	46	17	267	325.9
2	15	221	52	15	288	322.1
2	16	215	46	21	291	312.1
2	17	232	61	32	306	305.0
2	18	212	47	26	315	297.4
2	19	206	57	27	324	292.2
2	20	189	82	25	286	286.5
2	21	210	50	33	333	281.8
2	22	207	69	28	288	278.3
2	23	206	75	34	307	273.9
2	24	212	69	25	291	272.7
2	25	217	61	26	291	274.5
2	26	225	73	27	287	276.3
2	27	204	66	25	307	280.1
2	28	226	73	29	282	253.0
2	29	232	82	25	328	211.7
2	30	276	66	30	269	253.8
2	31	262	83	26	304	300.4
2	32	274	79	28	328	304.7
2	33	252	92	24	312	309.7
2	34	279	79	22	311	315.0
2	35	271	86	34	314	320.8
2	36	263	81	22	311	323.1
2	37	278	79	28	325	327.7
2	38	273	90	38	320	326.6
2	39	298	82	26	333	325.0
2	40	267	99	35	327	327.4
2	41	220	69	28	281	327.6
2	42	264	93	20	294	282.0
2	43	254	97	27	296	272.8
2	44	252	86	33	339	304.5
2	45	277	90	37	336	334.0
2	46	265	91	28	292	342.4
2	47	258	85	36	317	344.1
2	48	277	88	32	302	341.3
2	49	249	68	26	333	343.6
2	50	283	92	29	321	343.2
2	51	281	83	27	324	339.8
2	52	281	94	30	300	332.7
2	53	268	71	31	318	326.1
2	54	292	68	30	331	315.6
2	55	268	75	21	291	308.2

表 4.2 空中ガンマ線探査の評価表

Quetta - A area

Course NO	Time	1CH									2CH				3CH			A/B	A/C	TR		
		P	R	PI	Flm	F2	H	R	S	R	D.G	P	R	S	B.G	F	S				B.G	
EW-1	1	33	280	C	0.83	0.83	0.85	0.03	D	280	D	276	80	C	80	91	22	22	33	3.50	12.73	D
	2	36	280	C	0.70	0.70	0.73	0.03	D	280	D	276	81	C	81	91	28	28	33	3.46	10.00	D
	3	38	300	B	0.75	0.75	0.78	0.03	D	300	D	276	84	C	84	91	26	26	33	3.57	11.54	D
	4	44	279	C	1.10	1.10	1.13	0.03	D	279	D	276	93	C	93	91	37	37	33	3.08	7.54	D
	5	47	280	C	1.18	1.18	1.20	0.03	D	280	D	276	91	C	91	91	32	32	33	3.08	8.75	D
	6	49	286	C	1.23	1.23	1.30	0.03	D	286	D	276	96	B	277	91	30	86	33	3.08	9.92	B
	7	53	273	C	1.33	1.33	1.35	0.03	D	273	D	276	88	C	88	91	30	30	33	4.31	9.77	D
	8	55	298	B	1.38	1.38	1.43	0.05	C	298	C	276	101	B	190	91	35	64	33	3.88	9.16	C
	9	58	290	C	1.45	1.45	1.48	0.03	D	290	D	276	74	C	74	91	22	22	33	3.92	13.18	D
	10	61	281	C	1.53	1.53	1.55	0.03	D	281	D	276	86	C	86	91	30	30	33	3.27	9.37	D
	11	66	294	B	1.65	1.65	1.68	0.03	D	294	D	276	100	B	100	91	31	31	33	2.94	9.48	C
	12	69	293	C	1.73	1.73	1.75	0.03	D	293	D	276	100	B	100	91	32	32	33	2.93	9.16	D
	13	73	302	B	1.83	1.83	1.88	0.05	C	302	C	276	104	B	201	91	38	70	33	2.91	8.36	C
	14	76	294	B	1.90	1.90	1.75	0.05	C	294	C	276	92	C	183	91	40	62	33	3.28	9.45	C
	15	79	303	B	1.98	1.98	2.00	0.03	D	303	D	276	100	B	100	91	33	33	33	3.83	9.18	C
	16	81	306	B	2.03	2.03	2.05	0.03	D	306	D	276	88	C	88	91	24	24	33	3.48	12.75	D
	17	84	289	C	2.10	2.13	2.15	0.05	C	289	C	276	88	C	176	91	28	53	33	3.27	10.87	C
	18	87	309	B	2.18	2.18	2.20	0.03	D	309	D	276	93	C	93	91	31	31	33	3.32	9.97	D
	19	91	296	B	2.29	2.29	2.33	0.05	C	296	C	276	86	C	169	91	36	57	33	3.46	10.25	C
	20	101	297	B	2.53	2.53	2.58	0.05	C	297	C	276	110	B	191	91	36	63	33	3.10	9.48	C
	21	113	301	B	2.83	2.85	2.75	0.13	A	1439	A	276	87	C	426	91	37	142	33	3.38	10.13	B
	22	119	277	C	2.98	2.98	3.00	0.03	D	277	D	276	102	B	102	91	28	28	33	2.72	9.89	D
	23	121	279	B	3.03	3.03	3.13	0.10	A	1159	A	276	79	B	368	91	31	116	33	3.15	9.98	A
	24	126	323	B	3.15	3.20	3.23	0.08	B	877	B	276	109	B	274	91	36	87	33	3.27	10.31	B
	25	130	288	C	3.25	3.30	3.33	0.03	B	848	B	276	92	C	266	91	37	104	33	3.19	8.15	C
	26	135	290	C	3.38	3.40	3.43	0.05	C	570	C	276	97	B	175	91	32	62	33	3.26	9.19	C
	27	141	301	B	3.53	3.58	3.60	0.08	B	677	B	276	100	B	272	91	33	98	33	3.22	9.74	B
	28	145	278	C	3.63	3.63	3.65	0.03	D	278	D	276	76	C	76	91	31	31	33	3.66	8.97	D
	29	147	287	C	3.68	3.70	3.73	0.05	C	573	C	276	89	C	160	91	31	60	33	3.58	9.55	C
	30	153	283	C	3.83	3.83	3.85	0.03	D	283	D	276	103	B	103	91	26	26	33	2.75	10.88	D
	31	155	286	C	3.88	3.88	3.93	0.05	C	571	C	276	103	B	202	91	33	56	33	2.83	10.20	C
	32	158	295	B	3.95	4.00	4.03	0.08	B	861	B	276	99	B	248	91	33	86	33	3.47	10.01	B
	33	162	294	B	4.05	4.10	4.15	0.10	A	1149	A	276	89	C	334	91	35	119	33	3.44	9.66	B
	34	167	300	B	4.18	4.18	4.33	0.15	A	1725	A	276	101	B	549	91	34	173	33	3.16	10.83	A
	35	175	296	B	4.38	4.38	4.45	0.08	B	863	B	276	104	B	289	91	33	82	33	3.08	10.52	B
	36	177	301	B	4.48	4.48	4.50	0.03	D	301	D	276	96	B	96	91	34	34	33	3.14	8.85	C
	37	181	306	B	4.53	4.58	4.78	0.25	A	2904	A	276	105	B	883	91	39	311	33	3.29	9.34	A
	38	193	299	B	4.83	4.85	4.88	0.05	C	574	C	276	82	C	178	91	29	48	33	3.24	12.00	C
	39	196	308	B	4.90	4.98	5.05	0.15	A	1738	A	276	86	B	489	91	33	167	33	3.55	10.41	A
	40	203	273	C	5.08	5.08	5.10	0.03	D	273	D	276	95	B	95	91	37	37	33	3.08	7.92	D

4.1.3 産水率の算出

3.2.2に述べた方法により、次式によって空中ガンマ線強度から地下水脈の産水率(S.C)の数値を算出した。

$$\text{クエッタ地区：S.C} = 232.1N - 214.1$$

$$\text{カラート地区：S.C} = 849.1N - 852.6$$

(S.Cの単位は $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}$ 、N=選択ガンマ線強度/検出基準ガンマ線強度)

その算出値の過程を表4.3に示した。

この計算に用いた産水率は表3.1の既設井の揚水試験データを用い、深井戸による産水率の算出精度について、井戸構造、収水層の水理的条件、揚水量と水位低下量について検討を加え、十分に信頼性のあることを確認して、データとして採用した。この産水率の算出箇所数はクエッタ地区で14カ所、カラート地区で3カ所となった。

この値は揚水水位を1m低下させた場合の1日の揚水可能量の単位で示してある。

4.1.4 水脈の傾き

ほぼ一定幅の水脈で連続性のあるいくつかの水脈で、水脈の傾きを算出した。この水脈は開口亀裂性の断層破碎帯に伴う地下水脈と判定される。

地下水脈の傾きの算出法はガンマ線の強度分布曲線を用い、統計的手法を応用してコンピュータ解析を行った。判定基準の根拠となる模式図を図4.1に示す。すなわち、飛行方向の前方側に傾き落ちている場合は右傾のガンマ線強度分布となり、その反対の傾きの場合は左傾のガンマ線強度分布となる。

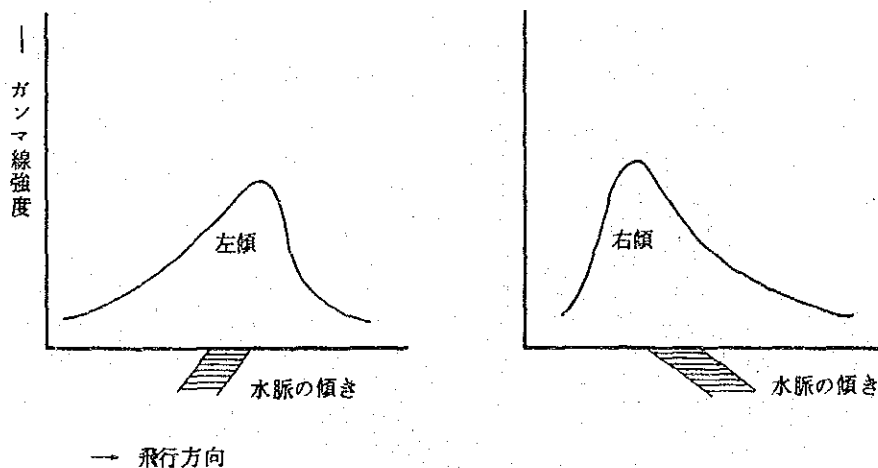


図4.1 水脈の傾きの判定模式図

表 4.3 産水率の算出表

*** チクメイ *** QUETTA-A

Nノハイキンは 1.11825
 S. Cノハイキンは 45.39
 カンマ = .879769

ソクセン No. EW-1

1	N= 1.01449	S. C= 21.312
2	N= 1.01449	S. C= 21.312
3	N= 1.08696	S. C= 38.128
4	N= 1.01087	S. C= 20.4712
5	N= 1.01449	S. C= 21.312
6	N= 1.03623	S. C= 26.3568
7	N= 1.06159	S. C= 32.2424
8	N= 1.07971	S. C= 36.4464
9	N= 1.05072	S. C= 29.72
10	N= 1.01812	S. C= 22.1528
11	N= 1.06522	S. C= 33.0832
12	N= 1.06159	S. C= 32.2424
13	N= 1.0942	S. C= 39.8096
14	N= 1.06522	S. C= 33.0832
15	N= 1.09783	S. C= 40.6504
16	N= 1.1087	S. C= 43.1728
17	N= 1.0471	S. C= 28.8792
18	N= 1.11957	S. C= 45.6952
19	N= 1.07246	S. C= 34.7648
20	N= 1.08333	S. C= 37.2872
21	N= 1.09058	S. C= 38.9688
22	N= 1.00362	S. C= 18.7896
23	N= 1.08333	S. C= 37.2872
24	N= 1.17029	S. C= 57.4664
25	N= 1.04348	S. C= 28.0384
26	N= 1.05072	S. C= 29.72
27	N= 1.09058	S. C= 38.9688
28	N= 1.00725	S. C= 19.6304
29	N= 1.03986	S. C= 27.1976
30	N= 1.02536	S. C= 23.8344
31	N= 1.03623	S. C= 26.3568
32	N= 1.06884	S. C= 33.924
33	N= 1.06522	S. C= 33.0832
34	N= 1.08696	S. C= 38.128
35	N= 1.07246	S. C= 34.7648
36	N= 1.09058	S. C= 38.9688
37	N= 1.1087	S. C= 43.1728
38	N= 1.08333	S. C= 37.2872
39	N= 1.11594	S. C= 44.8544
40	N= 1.06159	S. C= 32.2424

4.2 放射性同位体

4.2.1 ラドン

ラドンは半減期が3.825日と短いことから、1日から1ヶ月程度の水循環に対し有効な追跡子となる。また、このように半減期が短いため、測定値は採水時から測定時までの経過時間を減衰補正し、真の値とした後、N（自然計数）に対する比で表した。

なお、サンプルNo 15（クエッタ）、No 44, 45（カラート）は水に含まれる有機質の浮遊物が多いこと、シルト質の微粒子が多いことなどがシンチレーターの発光を妨害し、正確なデータが得られなかった。

4.2.2 トリチウム

トリチウムの濃度判定は大気中のトリチウム濃度が異常上昇した1954年の原水爆実験開始を基準年とした。このため、1954年以前の年代を示したものはそれより古いタイプの地下水としてO（オー）で、1954年以降の年代のものはそれより新しいタイプの地下水としてN（エヌ）で表示した。

第 5 章 解析結果

第5章 解析結果

5.1 空中探査

5.1.1 地下水脈の分布

5.1.1.1 クエッタ地区

(1) 流動性地下水

図5.1に解析結果として作製した地下水分布図を示す。

クエッタ地区で検出した流動性地下水脈は次のA, B, C, Eの4本である。

表5.1 クエッタ地区の流動性地下水脈

№	水脈名	地区内の水脈長 (km)	水脈幅 (m)	平均産水率 $m^3/d/m$
1	A	11.5	500～700 (上流) (下流)	51
2	B	9.0	480～1,400	43
3	C	6.0	400～800	37
4	E	6.5	400～700	74

A, B水脈は、この水脈のトリチウム分析の結果、濃度が高く、最近の年代のもので、流動性地下水と判定される。地下水脈図で明らかなように、A, B両水脈ともクエッタ市の西方向へ流動している主要の地下水脈を形成していることが明らかとなった。

C水脈はA水脈を強化している役目を果たしている。

以上はLANDI山の北側の地下水系に属する。次のE水脈はLANDI山の南側の別の水系に属する。

E水脈は地区南東部のZARKHUNALA沿いに分布し、新しく発見された水脈である。この地下水流域はクエッタ市方向の地下水脈とは関係はない。また、地下水涵養面積は極めて大きく、かつ破碎帯による地下水脈と判定される。その周辺部にも地下水帯の発達が見られ、産水率は本地区で最も大きい値を示し、注目すべき水脈と評価できる。

また、人工地下水涵養によって下流域の地下水を強化する必要があるれば、これらの検出した地下水系を利用し、その流動性地下水脈の上流域に涵養地域を設定すれば、下流域の地下水開発効率は著しく増大するものと思われる。クエッタ地区では、水脈の分布から、とくに地下水涵養の効果が期待できる。

(2) 停滞性地下水

クエッタ地区では以上の地下水脈の他に、図 5.1 に示したように D, F ~ N に至る 10ヶ所の閉鎖性の地下水帯を検出している。この地下水帯の産水率は前記の地下水脈より若干数値が小さくなっており、貯留性の地下水帯と判定されるが、貯留量に応じた地下水開発が可能と推定される。

5.1.1.2 カラート地区

(1) 流動性地下水

図 5.2 にカラート地区の地下水脈図を示す。カラート地区で検出した流動性地下水脈は次の A ~ C の 3 本である。これらの水脈の地下水はトリチウム分析結果を参考にして流動性の地下水と判定した。

表 5.2 カラート地区の流動性地下水脈

№	水脈名	地区内の水脈長 (km)	水脈幅 (m)	平均産水率 $m^3/d/m$
1	A	17.5	700 ~ 1,300	141
2	B	6.0	750 ~ 1,000	132
3	C	7.0	600 ~ 1,100	150

A 水脈と B 水脈とは図 5.2 に示すように、地区北部で合流して同一水系となっている。A 水脈は一部断層破砕帯に当たっており、開口亀裂水系と推定される。

C 水脈は CHAPPAI 山の西側に分布しており、新しく発見した規模の大きな水脈で、A, B 水脈とは別個のものである。産水率は本地区で最大値を示しており、注目すべき地下水脈と評価できる。

(2) 停滞性地下水

図 5.2 に示したように A, B 地下水脈の合流地域周辺に D, E の停滞性地下水帯が検出された。A, B, C の流動性地下水と比較すれば、閉鎖性で、産水率が小さく、貯留性が強いと思われるが、地下水開発の対象になるものと考えられる。

5.1.2 空中探査と弾性波探査等の対応性

空中ガンマ線探査で検出した水脈の一部で弾性波探査を実施したので、その対応性について検討した。

(1) クエッタ地区

空中ガンマ線探査で検出した D 地下水帯、E 地下水脈で弾性波探査を実施し、基盤深度を

推定している。

D地下水帯では基盤深度の浅いところで200 m、深いところで250 mとなり、基盤岩は中生層のチルトン石灰岩と推定されている。この水脈は連続性に乏しく、限定された貯留層と判定された結果を裏付けている。

E水脈では弾性波による基盤深度は深いところで150 mとなり、基盤岩の4.8 km/secの速度に対し、その中に2.1、2.8の低速度の値がみられ、基盤に亀裂の存在が推定されている。

空中探査では、E水脈はガンマ線強度が連続的に、かつ帯状に分布し、断層破碎帯による開口亀裂系と判定しているため、弾性波探査の結果と一致する。なお、参考として熱赤外線(8~13 μm)を測線の一部で測定したが、地下水脈との関係は全くみられなかった。

(2) カラート地区

空中ガンマ線探査で検出したA水脈で弾性波探査を実施している。

弾性波探査では基盤までの深度は浅いところが多く、深いところで70 mとなっている。また、基盤岩の速度は比較的遅く2.0~3.5 km/secを示しており、低速度値のところに亀裂の存在が推定されている。

5.1.3 産水率の分布

空中探査によって算出した各地下水脈の産水率分布を図5.3、図5.4に示した。

地下水脈の平均産水率はクエッタ地区では37~74 m³/d/m、カラート地区では132~150 m³/d/mを示した。

カラート地区の方が全般的に大きな産水率を示しているが、これはカラート地区の水脈の水文地質構造の特性によるものと思われる。

5.1.4 亀裂地下水脈の傾き

地下水脈の傾きの算出ができたところは、クエッタ地区ではEの開口亀裂系、カラート地区ではA、B、Cの開口亀裂系となった。

クエッタのEの開口亀裂系では北西方向に落ちた形で傾いている。その傾斜角については不明である。カラートAとBの開口亀裂系は、共に北西方向に落ちた傾きとなっているが、Cの開口亀裂系は逆に南東方向に落ちた傾きとなっている。

5.2 放射性同位体

5.2.1 ラドン

探査地区のラドン濃度は、クエッタ地区が表 5.3 に、カラート地区は表 5.4 に示した。

クエッタ地区では、ラドン濃度の最小が 1.03N で、最大は 2.96N の範囲にあり、平均値は 1.84N を示した。一方、カラート地区では、最小 1.07N から最大 4.65N であり、その平均値は 2.45N と全体的に大きな値となった。これは以下に述べる条件から説明できるものと思われる。

調査地域周辺では 7 月にかなりの降水が記録されたが、以後降水はなく、約 2 ヶ月間にわたり地下水への補給が行われなかった。

一方、ラドンの半減期は 3.825 日と短いこと、降水のラドン濃度は原則的にゼロであることから、新しい降水が補給されない場合にはラドン濃度は約一ヶ月間で地層に含まれているラジウムと約 90% が放射平衡に達することになる。このため、9 月下旬から 10 月中旬にかけて採水、分析を行った今回のラドンの濃度は地層中のラジウムの影響を強く受けており、地層に含まれるラジウム量を反映したものと思われる。

今回の調査では、降水の関係からラドンをトレーサーとして用いるのに不利な気象条件となった。

5.2.2 トリチウム

トリチウムの測定結果をクエッタ地区は表 5.3 に、カラート地区は表 5.4 に示した。

クエッタ地区では 37 サンプルの内、1954 年以前の古いタイプの地下水を示したものは 14 サンプル、1954 年以降の新しいタイプの地下水は 23 サンプルであった。

クエッタ地区では A ブロック西側の井戸群、I ブロック東側に分布する井戸群が、いずれも古いタイプの地下水に属することが明らかとなった。この古いタイプの井戸群は今回の空中探査で検出された地下水脈と一致のものではなく、いずれもその山側に存在する形となっている。しかしその反面、F ブロック西側のように、同様の地形に存在する井戸群でも新しいタイプの地下水を示しており、対称的なものとなった。しかし、この差異は古いタイプの地下水域で地表勾配がゆるやかで、部分的に見れば扇状地地形を呈している。このため、降水はその中流部で地質構造とも関連し、一時貯留され扇端部まで到達する時間差によるものと考えられる。

表5.3 クエッタ地区ラドン・トリチウム濃度の測定結果

(ページ 1)

番号	採水日時		採水場所	Rn *1	³ H *2
1	9/27	14:15	QV-4/64	2.96	N
2	9/27	14:40	QV-4/104	2.16	N
3	9/27	15:20	QV-3/11	2.44	N
4	9/27	15:55	QV-3/1	2.63	N
5	9/29	14:50	QV-3/103	2.51	N
6	9/29	10:40	Sikazi	2.22	N
7	9/29	11:05	Fauj Ali	1.92	N
8	9/29	11:30	Gausodo Tube Well	2.01	N
9	9/29	11:35	Gausodo Tube Well	1.65	N
10	9/29	12:10	Shah Beg Gubti	1.31	N
11	9/30	13:40	Abdul Khan	1.37	N
12	9/30	14:15	Cement Factory	2.19	N
13	10/1	11:40	QDA Heli Pad	1.14	N
14	10/1	12:50	N. Lourdes Hotel	1.13	N
15	10/1	11:30	Gwandne	-	N
16	10/1	12:20	Jamalan	1.76	N
17	10/1	13:00	Abdullah	1.58	O
18	10/1	14:00	Muhammad Qasim	1.68	O
19	10/1	14:00	Faiz Muhammad	1.49	O
20	10/1	14:20	Rasul Bakhsh	1.52	O
21	10/2	15:00	Karim Bakhsh	1.49	N
22	10/2	14:10	Hasani	1.77	N
23	10/2	14:45	Lashkar Khan Kili	2.13	N

番 号	採 水 日 時	採 水 場 所	Rn *1	'H *2
24	10/2 15:20		1.64	O
25	10/8 11:20	QV-3/39	2.32	N
26	10/8 11:40	QV-4/103	2.52	N
27	10/8 12:19	MP-2/6	1.97	N
28	10/8 13:06	CP-2/32	2.33	O
29	10/9 12:45	CP-2/34	1.16	O
30	10/9 13:15	CP-2/35	1.57	O
31	10/9 13:46	CP-2/36	1.03	O
32	10/9 14:35	CP-2/37	1.40	O
33	10/9 15:30	Quetta Airport	2.43	N
34	10/11 15:45	CP-2/7	2.48	N
35	10/11 16:25	Dilder Open Well	1.28	O
36	10/11 17:03	Barazai Open Well	1.46	O
37	10/11 16:00	Springs	1.49	O

注 *1 ラドン濃度はN(自然計数值)に対する比で表示した。

*2 トリチウム濃度は1954年を基準とし、それ以前の地下水をO、それ以降の地下水はNで表した。

表 5.4 カラート地区ラドン・トリチウム濃度の測定結果

番 号	採 水 日 時	採 水 場 所	Rn *1	³ H *2
38	10/14 15:43	S1 Springs	1.78	N
39	10/14 16:19	OW1 Open Well	2.55	N
40	10/14 17:00	OW2 Open Well	1.48	N
41	10/14 17:27	KL-5 Tube Well	3.22	O
42	10/15 11:28	OW3 Open Well	1.55	N
43	10/15 11:51	OW4 Open Well	-	N
44	10/15 12:21	OW5 Open Well	-	N
45	10/15 13:00	OW6 Open Well	4.55	N
46	10/15 13:27	OW7 Open Well	3.75	N
47	10/15 14:20	OW8 Open Well	1.33	N
48	10/16 09:53	OW9 Open Well	2.34	N
49	10/16 10:45	S2 Springs	1.68	N
50	10/16 11:28	OW10 Open Well	4.65	O
51	10/16 11:40	OW11 Open Well	1.07	N
52	10/16 13:35	OW12 Open Well	1.85	N

注 *1 ラドン濃度はN(自然計数値)に対する比で表示した。

*2 トリチウム濃度は1954年を基準とし、それ以前の地下水をO、それ以降の地下水はNで表した。

山側で新しいタイプを示した井戸群ではその背面が崖錐に近い地形のため、降水が直接的に涵養していることによるものと推定された。

カラート地区では15サンプルの内、新しいタイプの地下水が13と大勢を占め、残り2井が古いタイプの地下水であることが明らかとなった。

このようにカラート地区の地下水はクエッタの場合と異なって、主に新しいタイプの地下水であったが、これは今回実施された弾性波探査結果でも基盤層までの深さが30mから100m程度とかなり浅いという事実からも一致するものである。そのほか、調査地区外であるがNo.38、49は自然に湧出する湧泉であり、いずれも新しいタイプの地下水で涵養速度の速いことを示している。

第6章 地下水賦存量の算出

第6章 地下水賦存量の算出

地下水賦存量は流動性地下水と停滞性地下水とに分けて検討を行う。

空中探査で検出した地下水脈の分布、並びに産水率、透水量係数を用い、地下水等高線
*1
図 (WAPDA, UNDP) から地下水勾配を求め、ダルシーの法則により地下水流動量 Q を算出した。

$$Q = T \times I \times W \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、 T : 透水量係数 (m^2/d) I : 地下水勾配 W : 地下水脈幅 (m)

Q を算出した断面は各地下水脈の下流部で、水脈の地下水流動方向に直角に切る断面とした。

ここに用いた透水量係数 (T) は、4.1.3 の項で述べた方法によって地下水流動量算出測
*2
線を横断する方向で水脈全般にかかる産水率 ($S.C$) を算出し、次式によって、産水率を透水量係数に変換し、その透水量係数の平均値を求めて水脈 T とした。

$$T = \xi S.C + \eta \quad (\xi, \eta \text{ は定数})$$

但し、 ξ と η は最少自乗法を用いて求めた最適値で

$$\text{クエッタ地区} \quad \xi = 9.329 \quad : \quad \eta = 26.087$$

$$\xi = 5.431 \quad : \quad \eta = 16.066$$

地下水勾配 (I) は空中ガンマ線探査で検出した地下水脈の計算断面に該当するところの注
1
の地下水等高線から地下水流動方向を推定し、その方向の勾配とした。

クエッタ地区は1971年にパキスタン側が実施した図6.1の地下水等高線図を基にした。その理由は、1978年のUNDPの地下水等高線の観測があったが、E水脈の付近のデータが欠落しており、やむなく全体をカバーできる1971年のデータを使用した。しかし、1971年の測定値と1978年の測定値を比較検討すると、両年の間に水位低下が認められるものの、マクロで見ればその傾向は類似しており、最近の地下水流動量を推定しても妥当性があると判定した。

カラート地区では図6.2の1978年の地下水等高線図を使用した。

地下水脈幅 (W) は空中ガンマ線探査によって検出した地下水脈の下流域の幅を採用した。

*1 Quetta area : WAPDA, Quetta, "Groundwater levels in Quetta Valley project area", Sept. 1971

Kalat area : United Nation WAPDA "Groundwater studies in selected area of Baluchistan", Technical report No. 4, 1982

*2 Logan, J. : "Estimating transmissibility from routine production tests of winter wells", Groundwater, Vol. 2, No. 2, 1964

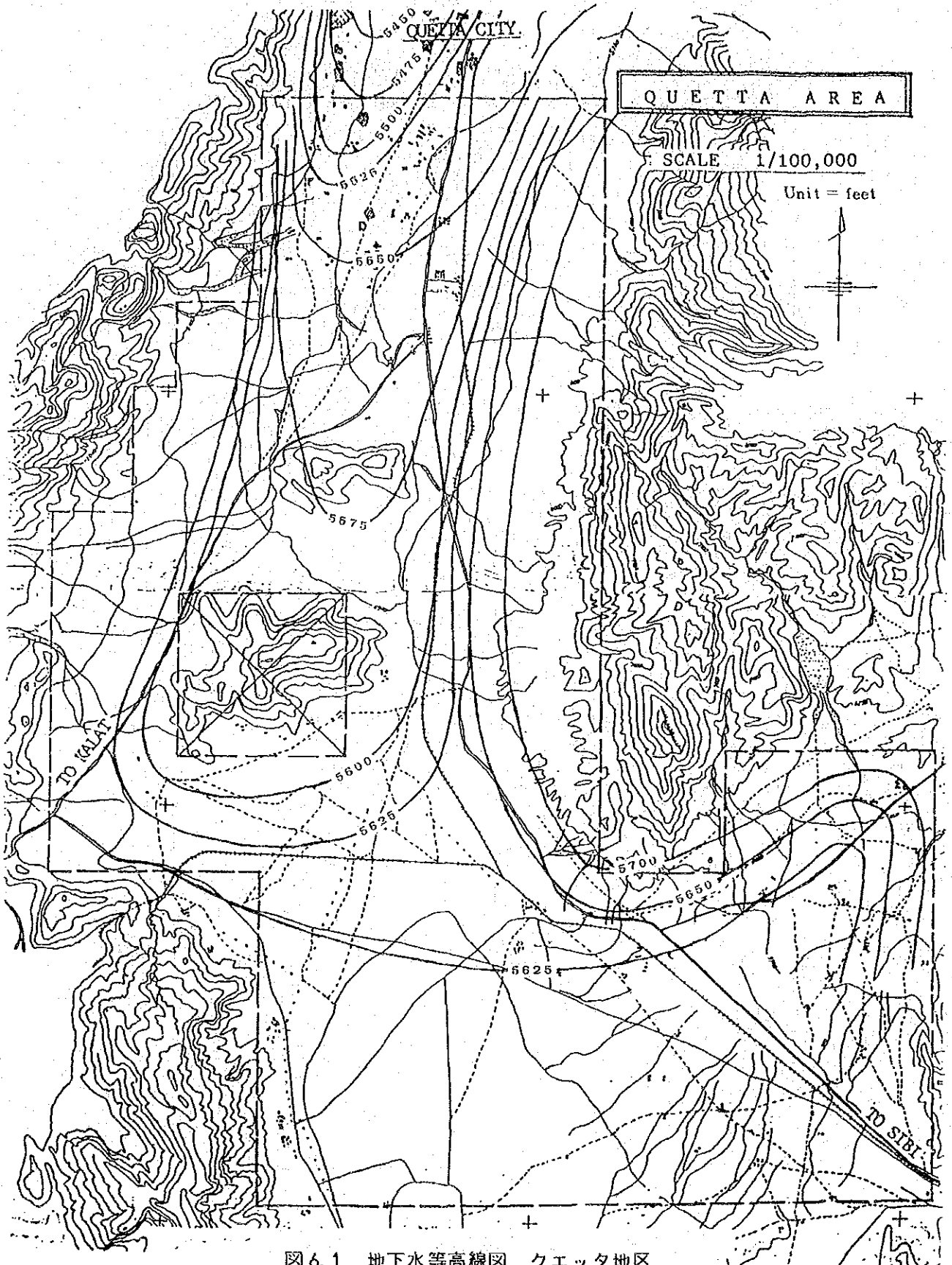


図 6.1 地下水等高線図 クエッタ地区

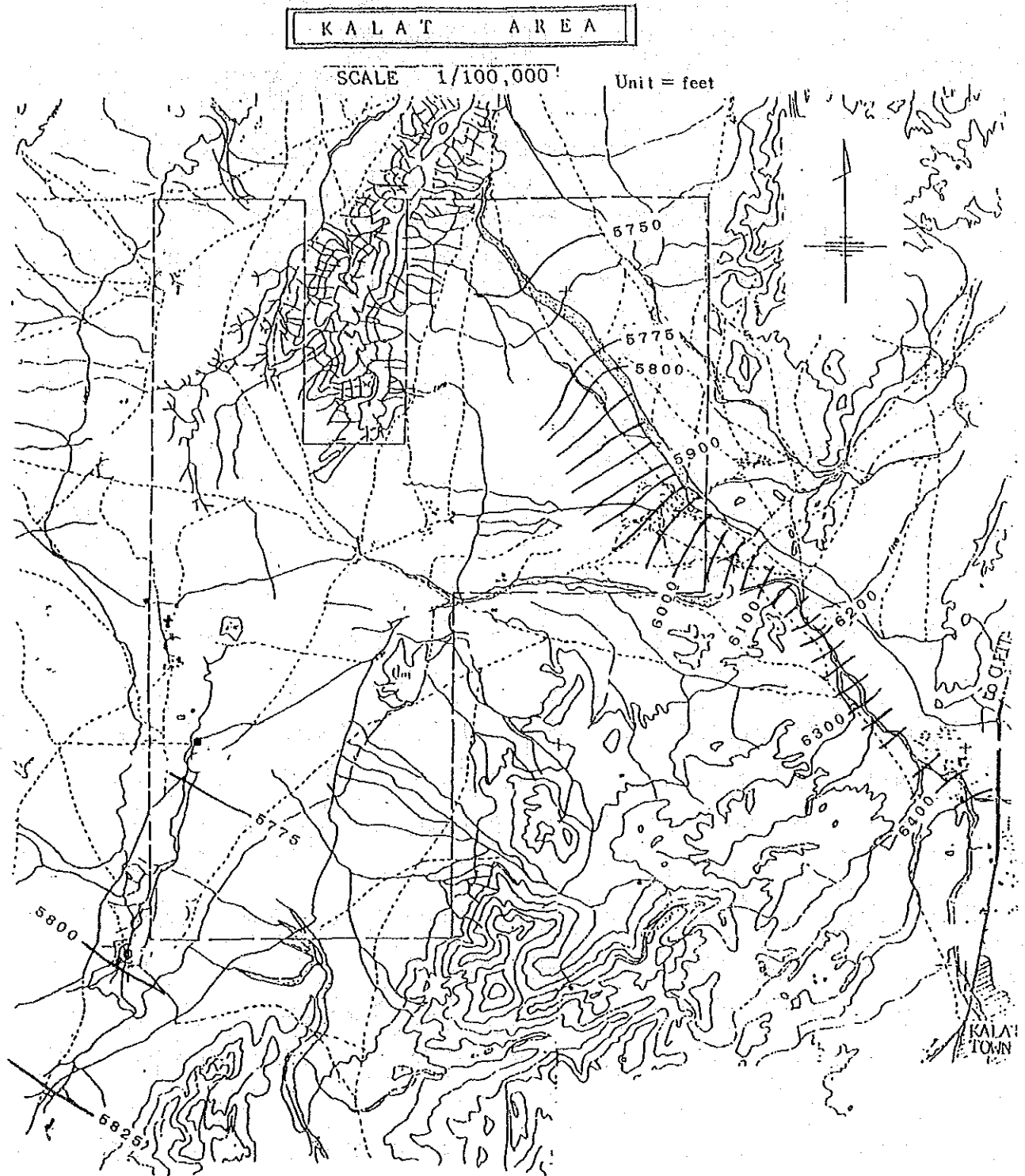


図6.2 地下水等高線図 カラート地区

6.1 クエッタ地区

6.1.1 流動性地下水賦存量

A、B、C、Eの各流動性地下水脈の下流の地下水賦存量(Q)を(1)式によって算出すると次表6.1のように推定される。

表6.1 クエッタ地区流動性地下水賦存量

水脈名	透水量係数	地下水勾配	水脈幅	地下水賦存量
	T (m^3/d)	I (1971年)	W (m)	Q (m^3/d)
A	582	1/66	610	5,380
B	486	1/265	1,350	2,480
C	396	1/46	772	6,650
E	707	1/46	498	7,650
計				22,160

A地下水脈の下流域における地下水賦存量は(1)式により $5,380 m^3/d$ となる。

B地下水脈の下流域では $2,480 m^3/d$ となる。

A、B地下水脈の中、下流域では、オープンウエル、深井戸が掘削され、地下水利用が行われている。

C地下水脈は扇状地を横切り、水脈の規模に比較して地下水賦存量が大きいものと推定される。この周辺での地下水開発は、まだあまり行われていないので、今後の流動性地下水の開発候補地として有望と判定される。従って、検証のテストボーリングはこの水脈がよいと思われる。

E流動性地下水脈はA、B、Cの地下水脈と水系を異にするもので、地下水流動量は $7,650 m^3/d$ と算出された。これは水脈の規模に比較して大きな地下水賦存量を示している。また、この水脈は断層破碎帯に伴う開口亀裂地下水系と判断される。従って、第四紀堆積層中の水脈の開発はもちろん、これと別に開口亀裂水系の開発が可能と思われる。弾性波探査の結果によれば、この水脈には150m以下に基盤の存在が推定されているので、開口亀裂水系はこれ以下の深度に存在するものと推定される。このE地下水脈は全くの未開発であり、今後の有力な地下水開発適地と考えられる。従って検証のテストボーリングの深度は基盤に到達後、基盤中に更に100m掘削するのがよいと思われる。

6.1.2 停滞性地下水賦存量

クエッタ地域で停滞性地下水の最大の規模のものはD地下水帯と推定される。

停滞性地下水の検証はD地下水帯で弾性波探査による基盤深度の推定が行われているので、地下水の貯留性、基盤岩の性状がテストボーリングでチェックできるものと思われる。

このD地下水帯はその分布範囲が広く、地下水帯の規模、及び産水率が他の停滞性地下水帯よりも大きいので、今後の停滞性地下水の優先的開発対象となりうるが、乾燥地域の閉鎖性の地下水帯であり、持続性については注意を払う必要がある。^{※1}

この地下水帯の中央北西部の外縁において、トリチウム分析によって、1954年以降の地下水の存在が確認されているので、揚水による補給涵養の誘発が周辺地域に期待できるものと思われる。

この他、F～Nの9カ所に停滞性地下水帯が図5.1に示したように分布する。これらの停滞性地下水の賦存量は流動性地下水の賦存量とその水文的性格を異にするので、6.1.1で算出した方式を地下水賦存量の算出に適用することはできない。したがって、産水率と許容限界水位を用いて、地下水開発可能量として次章で算出した。

6.2 カラート地区

6.2.1 流動性地下水賦存量

A、B、Cの3本の地下水脈下流の地下水賦存量(Q)を、クエッタと同様(1)式で算出すると、次表6.2に示すように推定される。

表6.2 カラート地区流動性地下水賦存量

水脈名	透水量係数 T (m^3/d)	地下水勾配 I(1982年)	水脈幅 W (m)	地下水賦存量 Q (m^3/d)
A	700	1/372	1,290	2,430
B	610	1/53	805	9,260
C	678	1/106 ^{※2}	805	5,150
計				16,840

※1 山本荘毅“地下水探査法”、P22、地球出版、1973

※2 地下水位のデータが皆無であり、付近の地形、帯水層を勘案して推定した。テストボーリングによって検証する必要がある。

A地下水脈の地下水賦存量は下流部で $2,430 \text{ m}^3/\text{d}$ となる。

B地下水脈の賦存量はA地下水脈よりも大きく、 $9,260 \text{ m}^3/\text{d}$ で、地下水開発候補地として適しているものと考えられる。

C地下水脈は $5,150 \text{ m}^3/\text{d}$ と推定される。C地下水脈の周辺は地下水未開発地域であるので、今後の地下水開発候補地として有望と判定される。従って、検証のテストボーリングはB、Cの開口亀裂水脈が適しているものと考えられる。

6.2.2 停滯性地下水賦存量

A、B両水脈の合流点付近にD、Eの停滯性地下水帯の存在が推定される。これらはA、B両水脈に接しているため、A、B両水脈の揚水によって、補給涵養が誘発される可能性があるものと考えられる。これらの停滯性地下水の賦存量についてはクエッタ地区の停滯性地下水と同様に考え、次章の地下水開発可能量のところで述べる。

第7章 地下水開発可能量

第7章 地下水開発可能量

地下水開発可能量は流動性地下水と停滞性地下水とに分けて検討を行った。

地下水の開発に当っては好ましくない結果を招くことなく、地下水域から取水可能な安全揚水量の概念を導入する必要がある。算出した流動性の地下水は放射性同位体の分析により、循環水であることを確認している。従って、地下水開発可能量を地下水賦存量の80%^{*1}として算出する。また貯留性地下水については、上記の定義と異なるが、わが国の平均許容限界水位の10m^{*2}を採用し、産水率を用いて地下水開発量を推定する。

このタイプの地下水利用については地下水利用時の動水位の変化に注意を払う必要がある。

7.1 流動性地下水の開発可能量

クエッタ、カラート両地区の地下水開発可能量を算出し、表7.1に示したように推定した。

検出された流動性の地下水脈では、第四紀の地層水とその下部の基盤岩の開口亀裂地下水とが開発利用できる地下水と考えられる。とくに、開口亀裂地下水系はその周辺に亀裂が多く発生するため、地下水涵養が大となり、深井戸による地下水利用が有望と考えられる。

安全揚水の概念を導入して、流動性地下水の開発可能量を算出すると、クエッタ地区で17,730m³/d、カラート地区で13,470m³/dと推定される。

*1 通産省仙台通産局 “山形盆地西部地域・地下水利用適正化調査報告書” 工業用水、No.317, P35, 1985

*2 水収支研究グループ “地下水資源学” 共立出版、P330, 1973

表 7.1 流動性地下水の地下水開発可能量

クエッタ地区

水 脈 名	水脈の分類	位 置	地下水開発可能量 (m^3/d)
A	流動性	下 流	4,310
B	〃	〃	1,980
C	〃	〃	5,320
E	〃	〃	6,120
計			17,730

カラート地区

水 脈 名	水脈の分類	位 置	地下水開発可能量 (m^3/d)
A	流動性	下 流	1,940
B	〃	〃	7,410
C	〃	〃	4,120
計			13,470

7.2 停滯性地下水の開発可能量

クエッタ、カラート両地区の停滯性地下水を対象にして、揚水による好ましくない影響がおきないようにするため、許容限界水位を1.0 mにとり、地下水開発可能量を算出すると、表7.2のようにクエッタ地区では総計7,880 m³/dと推定される。

これらの停滯性地下水において、クエッタ地区のD地下水帯は他の地下水帯よりも著しく大きな地下水帯と推定される。地下水位をコントロールして、周辺地域からの補給涵養を促進しつつ地下水開発を行えば、比較的揚水期間を持続させることが可能と考えられる。

カラート地区の停滯性地下水帯はA、Bの流動性地下水脈の合流地域周辺にD、Eの2カ所に存在しているものと推定される。これらの地下水帯の産水率は表7.2に示すように47-51 m³/d/mで比較的大きく、総地下水開発可能量は3,880 m³/dと推定される。また、これらの地下水帯はA、Bの流動性地下水脈と接しているので、ごくゆっくりであるが、A、B両水脈を涵養する機能があるものと思われる。

したがって、A、B水脈の地下水開発によってその地下水位が低下すれば、D、Eの地下水帯からの補給涵養を促進してA、B水脈の地下水流動量を増大させる効果があるものと考えられる。

表 7.2 停滞性地下水の地下水開発可能量

クエッタ地区

地下水帯名	面積	平均産水率	揚水箇所	平均産水量	地下水開発可能量*
	(Km ²)	(m ³ /d/m)		(m ³ /d/m)	(m ³ /d)
D	5.6	69	6	414	4,140
F	2.0	35	2	70	700
G	1.1	33	1	33	330
H	0.9	35	1	35	350
I	1.9	29	2	58	580
J	1.2	23	1	23	230
K	0.4	33	1	33	330
L	0.4	34	1	34	340
M	1.5	30	2	60	600
N	0.8	28	1	28	280
計					7,880

カラート地区

地下水帯名	面積	平均産水率	揚水箇所	平均産水量	地下水開発可能量*
	(Km ²)	(m ³ /d/m)		(m ³ /d/m)	(m ³ /d)
D	3.1	51	3	153	1,530
E	4.7	47	5	235	2,350
計					3,880

*許容限界揚水水位を10mと推定する。

第8章 試験結果に対する見解

第8章 試験井結果に対する見解

8.1 一般

空中ガンマ線探査で検出した地下水脈において、カラート地区で3本、クエッタ地区で4本（地区外に1本）の試験井が掘削された。これら試験井においては、エアーリフト法による揚水試験は行われているが、正規の揚水試験法である水中ポンプでの揚水試験が一部未了である。また、検出された地下水脈の上流部で各1本のみ試験井が掘削されただけである。従って、現時点では詳しい評価は出来ないが、以下にこれまでの試験結果に対する見解を記す。

8.2 クエッタ地区

A水脈の掘削地点での基盤は石灰岩が大きく発達していた。エアーリフト法による揚水試験結果でも、揚水量は極めて大きかった。しかし、クエッタ地区北部は過剰揚水状態にありこれ以上の開発はできるかぎり避けるべきであるが、どうしても開発が必要な場合は、A地下水脈下流部の地下水位変化が十分留意する必要がある。

B水脈では基盤が深すぎたため、試験井は掘削機械の能力の限界のためで基盤深度が周辺に比較して著しく深いのは、構造帯に位置しているためと思われる。300 m以深には開放亀裂系水脈の存在力が想定される。

D水脈においては、基盤上の堆積物がいかに厚くとも、また、粘土層であろうとも、まったく影響なく基盤の開放亀裂系水脈が検出できたことを示している。しかし、D水脈は地下水の補給が悪い停滞性地下水帯なので、みかけ上の揚水量に惑わされることなく、開発には十分注意する必要がある。

従来の経験によると、地下水位が深い場所でのエアーリフト法による揚水試験は、ポンプで行う揚水試験と比較して極めて不正確である。エアーリフト法の水を押し上げる方法と、強制的に破碎帯の水を吸いながら揚水するポンプとでは、地下水位が深いほど結果が異なるので、E水脈においてはポンプによる揚水試験がぜひ必要である。

8.3 カラート地区

A、B地下水脈において、試験井の揚水量がガンマ線探査予測値と大きく異たのは下記の理由によると考えられる。

- (1) 基盤の石灰岩層がより発達しているものと考えられたが、実際には頁岩層が優勢であった。これはA水脈において、特に顕著であった。
- (2) 頁岩層でも有効な帯水層となる場合もあるが、A水脈では、頁岩層が軟弱であったために掘削中に周辺が土圧で潰れ亀裂に目詰まりをおこしたものと考えられる。このことは電気検層の結果からも想定できる。しかし、石灰岩が十分に発達している深度まで掘削すれば、開放亀裂系水脈が期待出来るものと推定される。

8.4 まとめ

クエッタ地区の地下水脈の産水率は概ね一致していると判断できるが、カラート地区の産水率が不一致であったのは、当該調査地区内に参考となる既設井が少なく、やむを得ず近接する調査地区外のデータを使用したことに起因する誤差と考えられる。

クエッタ石灰岩地域において、基盤の開放亀裂系水脈が確認され、基盤上部の第4紀堆積層に地下水が殆どみられないところでは、これら開放亀裂系水脈は今後の水資源供給に大きな価値が見いだされるであろう。

現在のところ、試験井の数が少なく実態が充分明らかになったとは言いがたいので、さらに各地下水脈の上流部、中流部、下流部に数本の試験井を掘削し、ポンプによる揚水試験を実施し、より正確に地下水のポテンシャルを確認することが望ましい。

付 技術移転

付 技術移転

今回の開発調査に用いたガンマ線空中探査技術を現地側へ技術を移転させるため、現地基地で探査作業中に現地側カウンターパートに対し、技術移転に最大の努力を行った。しかし、限定された期間内に探査作業を遂行するなかで、毎日の探査作業中に技術移転教育を行うという環境下では、幅広い高度の技術の全項目について細部まで説明することは出来なかった。しかし、概論、探査技術については一応の目的を達成したと思われる。

技術移転のために行った主な項目は下記の通りである。

1. 選択ガンマ線探査法。
2. いままでの地下水探査法。
3. 最近のリモート・センシング技術。
4. 放射性同位元素を利用した水の解析。
5. その他。