

パキスタン回教共和国

バルチスタン州地下水かんがい
開発計画調査

フィナル・レポート
第Ⅲ巻
空中ガンマ線探査報告書

昭和63年 3 月

国際協力事業団

農計技

88-12

JICA LIBRARY



1065347[5]

パキスタン回教共和国

バルチスタン州地下水かんがい
開発計画調査

フィナル・レポート
第Ⅲ巻
空中ガンマ線探査報告書

昭和63年3月

国際協力事業団

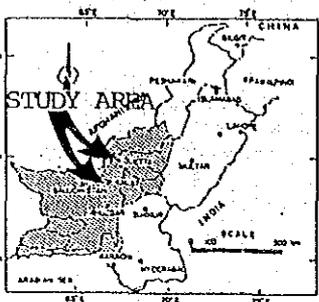
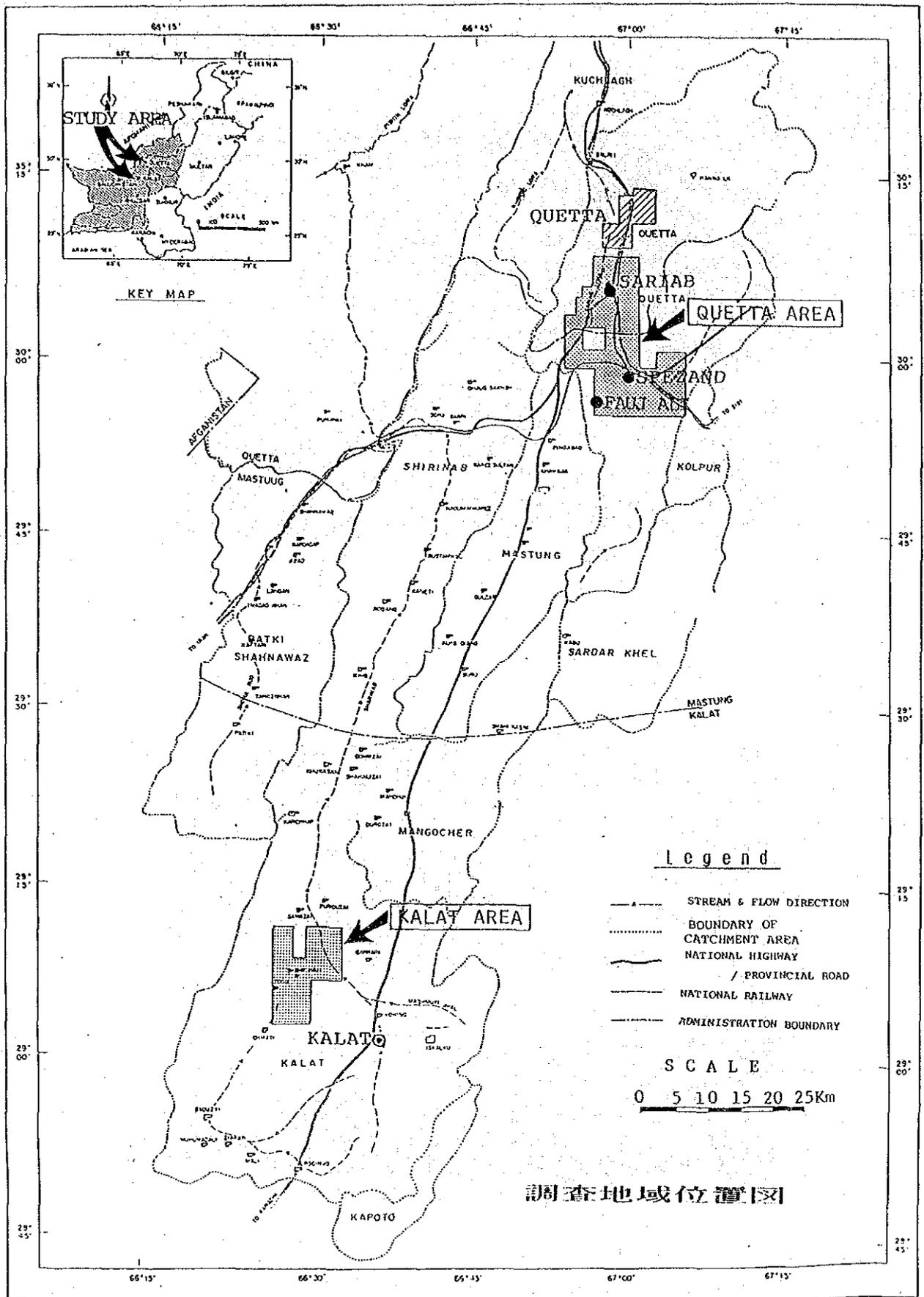
國際協力事業団

国際協力事業団

17711

国際協力事業団

17711



KEY MAP

Legend

- STREAM & FLOW DIRECTION
- BOUNDARY OF CATCHMENT AREA
- NATIONAL HIGHWAY
- / PROVINCIAL ROAD
- NATIONAL RAILWAY
- ADMINISTRATION BOUNDARY

SCALE

0 5 10 15 20 25Km

調査地域位置図

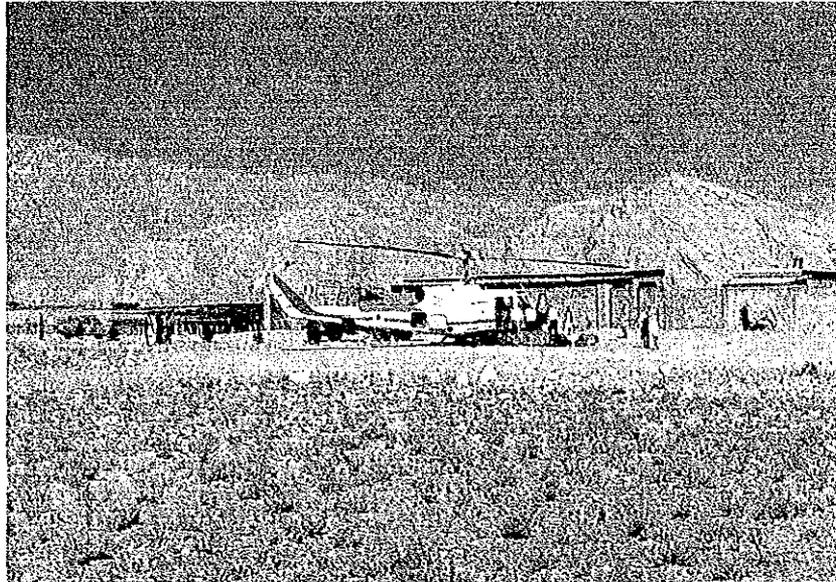


写真1 ヘリパット(クエッタ地区)

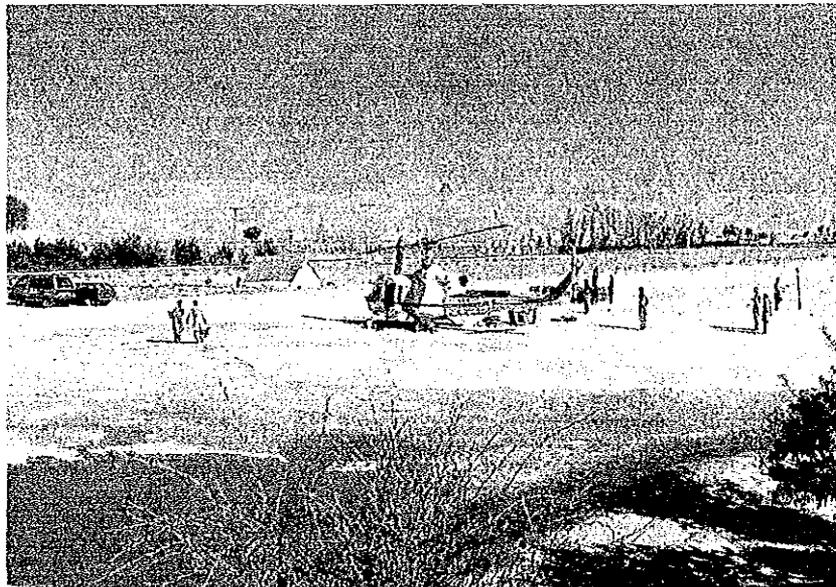


写真2 ヘリパット(カラート地区)

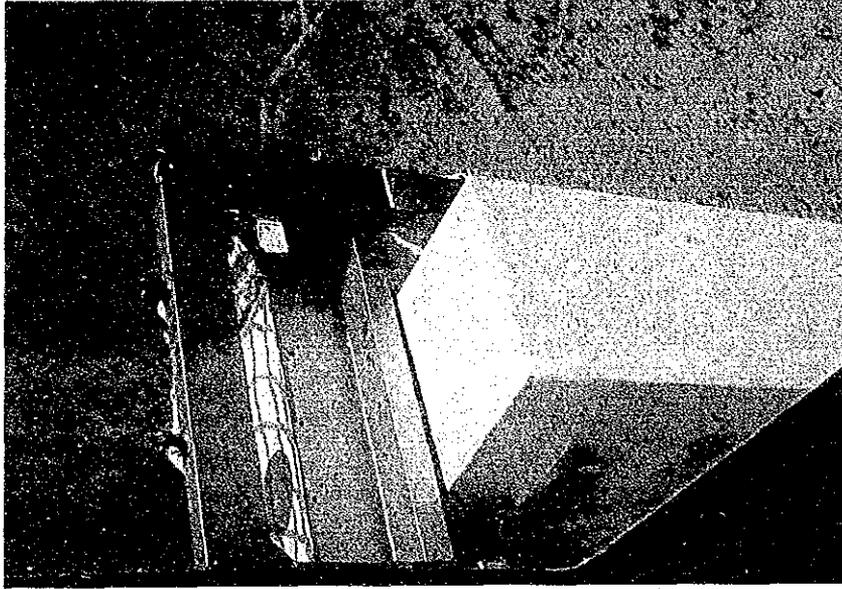


写真3 ガンマ線スペクトロ検出器

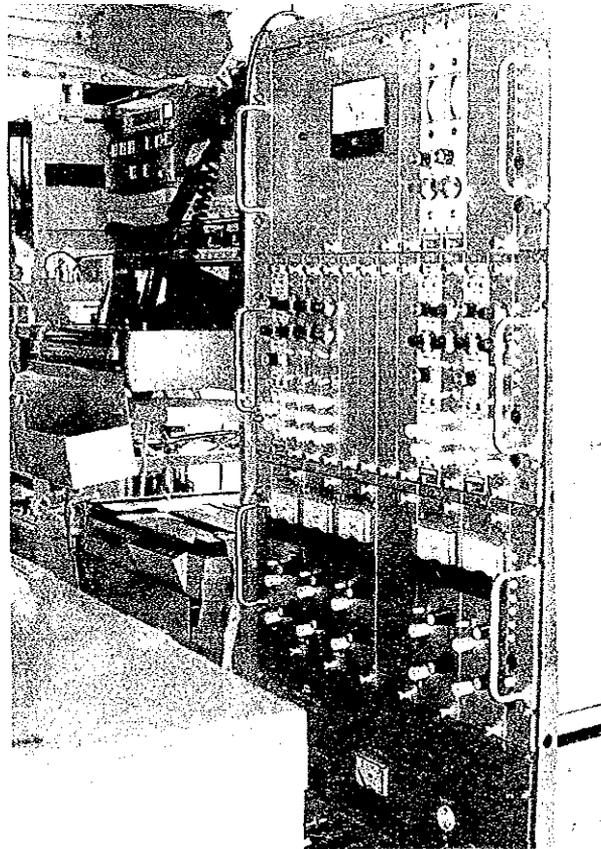


写真4 空中選択ガンマ線探査装置

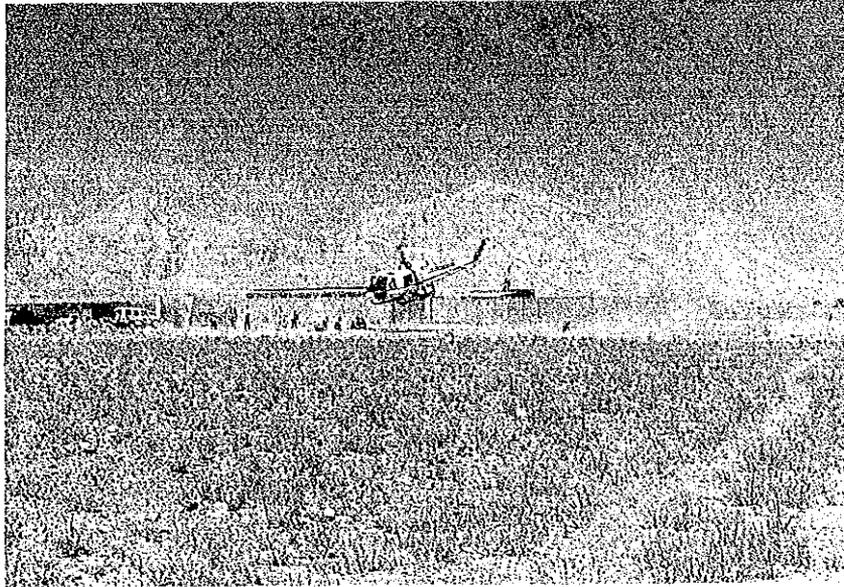


写真5 ヘリコプター探査機の離陸状況

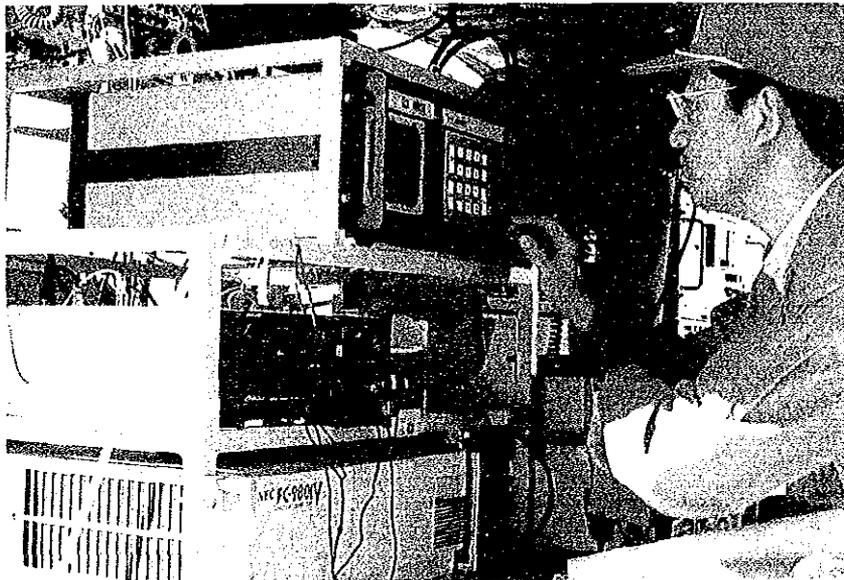


写真6 ヘリコプター探査機内の測定状況

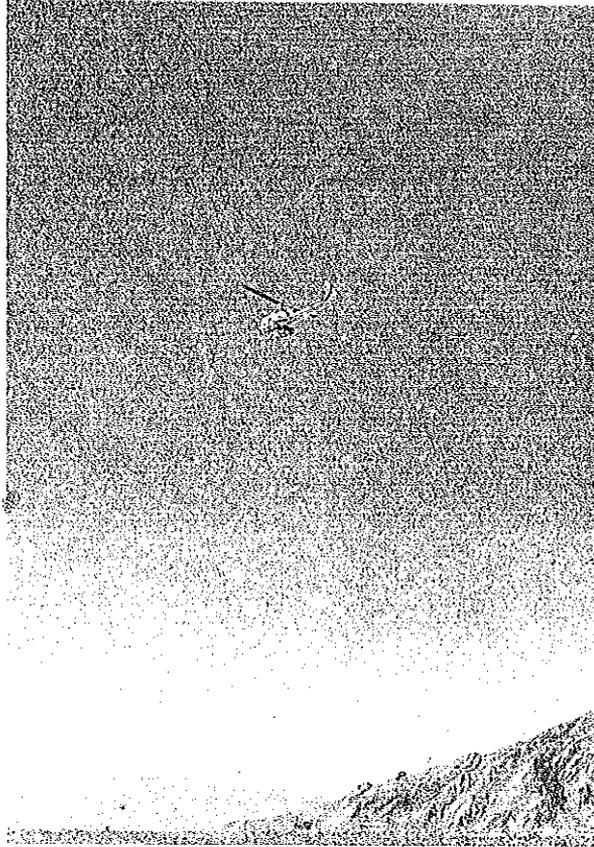


写真7 空中ガンマ線の測定状況

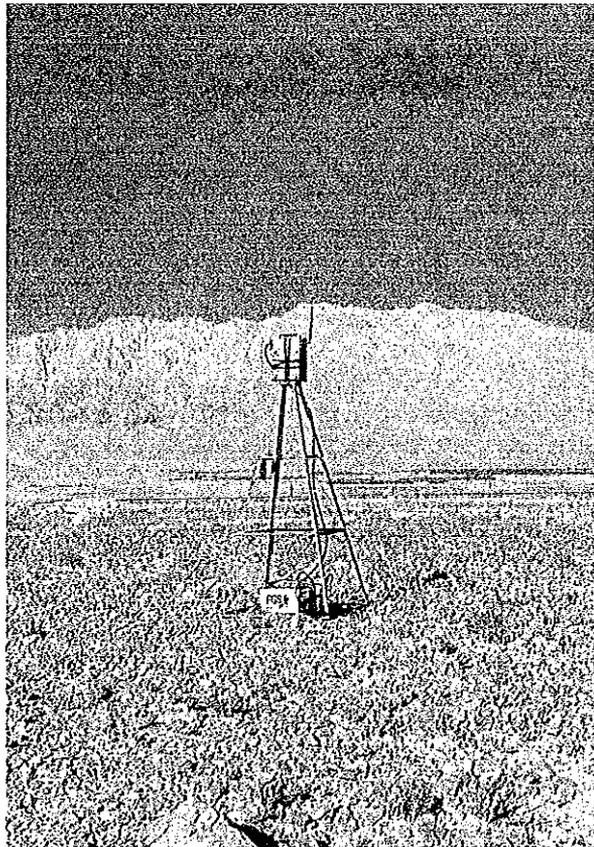


写真8 トライスポンダー地上局の状況



写真9 調査地遠影(クエッタ地区)



写真10 調査地遠影(カラート地区)

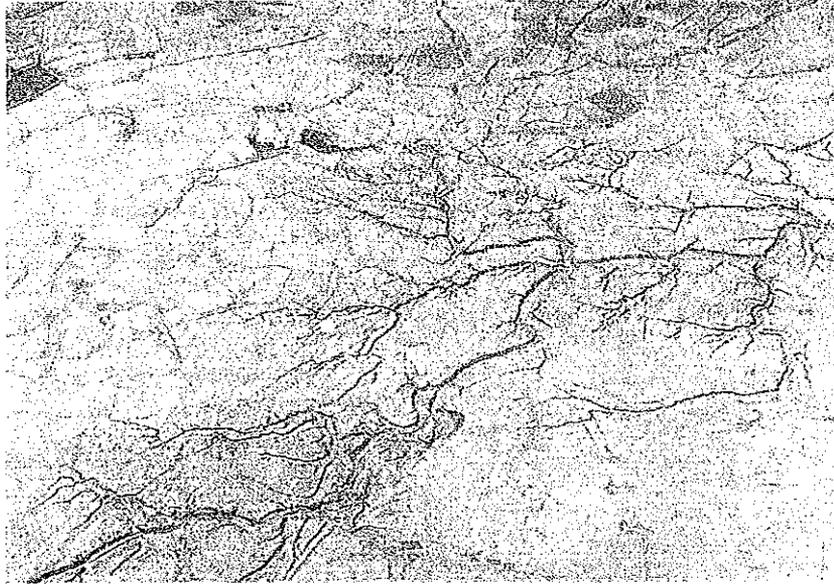


写真11 ワジの状況(カラート地区)

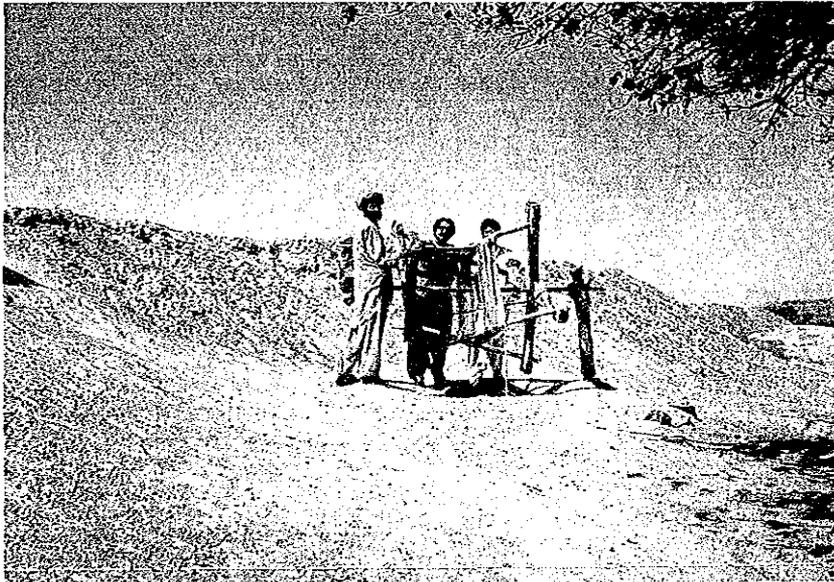


写真12 オープンウェル(カラート地区)

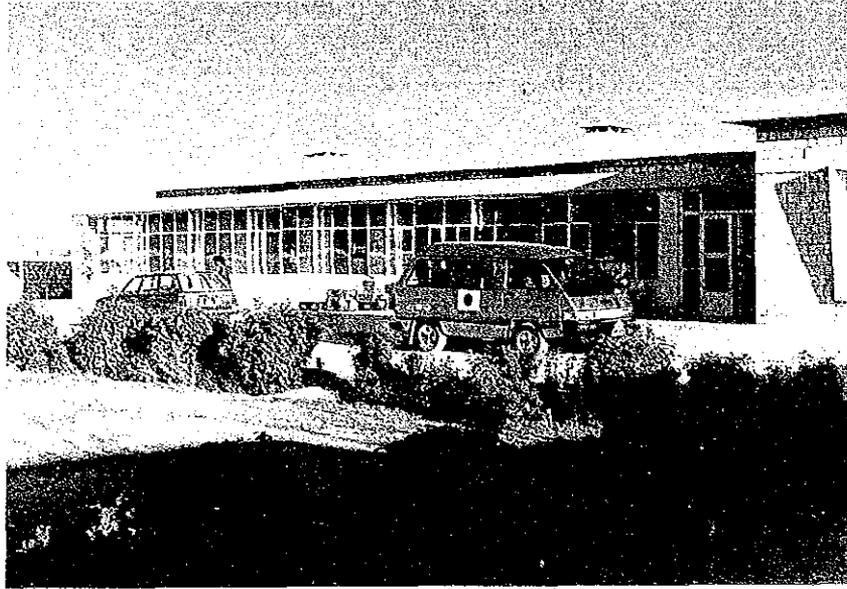


写真13 空中探査支援車

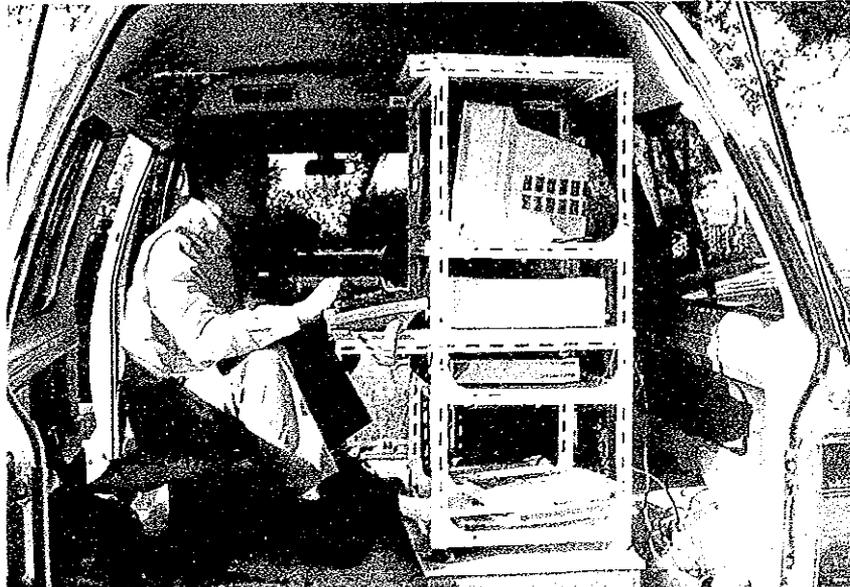


写真14 支援車内の状況

空中ガンマ線探査の要約

空中ガンマ線探査の要約

1. 空中選択ガンマ線探査の解析によって、クエッタ地区で4本、カラート地区で3本の開口亀裂水系を検出した。これらの地下水脈はいずれも流動性の地下水と判定された。その流動性は、地下水のトリチウム分析結果から、最近の新しい年代の地下水となったことにより証明された。

2. 上記の検出した開口亀裂水系の規模の総合評価を行い、いずれの開口亀裂水系も大規模の地下水脈にランク付けされた。

3. 空中ガンマ線探査により流動性地下水脈は基盤上の第四紀堆積層とその下部の基盤岩中の開放亀裂系に発達している可能性を見出した。したがって、今後、この亀裂地下水脈の存在をテストボーリングで確認する必要がある。テストボーリングの深度は基盤到達後、更に100m岩盤中を掘削する計画がよいと考える。

・ 開口亀裂水系の存在が確認できれば、今後の地下水資源の水供給に大変な価値がある。

4. 空中ガンマ線探査から流動性の地下水賦存量を算出すると、クエッタ地区で22,160 m^3/d 、カラート地区で16,840 m^3/d と推定される。

実際に地下水開発を行うと、更に補給涵養が誘発され、実際の地下水賦存量はここで算出した地下水賦存量を上廻ることが見込まれる。

5. 安全揚水量の概念を導入して、流動地下水の開発可能量を算出すると、クエッタ地区で17,730 m^3/d 、カラート地区で13,470 m^3/d と推定される。

6. 流動性地下水脈の他に停滞性地下水帯がクエッタ地区で10ヶ所、カラート地区で2ヶ所検出された。この地下水帯は地下水利用の対象にすることができる。しかし、揚水量は永続性のものではなく涸渇性揚水量となる。

許容限界水位を一応、10mに設定すれば、地下水開発可能量はクエッタ地区で7,880 m^3/d 、カラート地区で3,880 m^3/d と推定される。

7. 流動性地下水、停滞性地下水を合算した総地下水開発可能量はクエッタ地区で25,610 m^3/d 、カラート地区で17,350 m^3/d と推定される。

目 次

調 査 位 置 図

現 場 写 真

空中ガンマ線探査の要約

第1章 探 査 概 要	1
1.1 目 的	1
1.2 空中選択ガンマ線探査法	1
1.2.1 探査装置及び探査方法	1
1.2.2 調 査 期 間	4
第2章 空 中 探 査 作 業	5
2.1 地上基地及びヘリパッド	5
2.2 探 査 測 線	6
2.3 探 査 区 画	6
2.4 測定高度及び飛行速度の設定	7
第3章 探 査 方 法	10
3.1 既 設 井 調 査	10
3.2 空 中 ガン マ 線 探 査	10
3.2.1 空中探査のフロー	10
3.2.2 選択ガンマ線の選定と産水率の測定	10
3.3 放射線同位体の測定	16
3.3.1 ラ ド ン	16
3.3.2 トリチウム	16
第4章 解 析 法	20
4.1 空 中 ガン マ 線 探 査	20
4.1.1 数 値 解 析	20
4.1.2 地下水脈の検出とその規模の評価	20
4.1.3 産水率の算出	23
4.1.4 水脈の傾き	23

4.2	放射性同位体	25
4.2.1	ラドン	25
4.2.2	トリチウム	25
第5章	解析結果	26
5.1	空中探査	26
5.1.1	地下水脈の分布	26
5.1.2	空中探査と弾性波探査等の対応性	27
5.1.3	産水率の分布	28
5.1.4	亀裂地下水脈の傾き	28
5.2	放射性同位体	29
5.2.1	ラドン	29
5.2.2	トリチウム	29
第6章	地下水賦存量の算出	34
6.1	クエッタ地区	37
6.1.1	流動性地下水賦存量	37
6.1.2	停滞性地下水賦存量	38
6.2	カラート地区	38
6.2.1	流動性地下水賦存量	38
6.2.2	停滞性地下水賦存量	39
第7章	地下水開発可能量	40
7.1	流動性地下水の開発可能量	40
7.2	停滞性地下水の開発可能量	42
第8章	試験井結果に対する見解	44
8.1	一般	44
8.2	クエッタ地区	44
8.3	カラート地区	44
8.4	まとめ	45
付	技術移転	46

図 の 目 次

図 1. 1	空中選択ガンマ線探査装置の機構	2
図 1. 2	空中選択ガンマ線探査専用機の構成図	3
図 2. 1	空中探査測線配置図 クエッタ地区	8
図 2. 2	空中探査測線配置図 カラート地区	9
図 3. 1	既設井調査位置図 クエッタ地区	11
図 3. 2	既設井調査位置図 カラート地区	12
図 3. 3	空中ガンマ線探査のフロー	14
図 3. 4	地区単位の空中探査実施のフロー	15
図 3. 5	放射性同位体の採水位置 クエッタ地区	17
図 3. 6	放射性同位体の採水位置 カラート地区	18
図 4. 1	水脈の傾きの判定模式図	23
図 5. 1	地下水分布図 クエッタ地区	} 袋挿入
図 5. 2	地下水分布図 カラート地区	
図 5. 3	産水率分布図 クエッタ地区	
図 5. 4	産水率分布図 カラート地区	
図 6. 1	地下水等高線図 クエッタ地区	35
図 6. 2	地下水等高線図 カラート地区	36

表 の 目 次

表 3.1	既設井の調査表	13
表 4.1	空中選択ガンマ線の測定値	21
表 4.2	空中ガンマ線探査の評価表	22
表 4.3	産水率の算出表	24
表 5.1	クエッタ地区の流動性地下水脈	26
表 5.2	カラート地区の流動性地下水脈	27
表 5.3	クエッタ地区ラドン・トリチウム濃度の測定結果	30
表 5.4	カラート地区ラドン・トリチウム濃度の測定結果	32
表 6.1	クエッタ地区流動性地下水賦存量	37
表 6.2	カラート地区流動性地下水賦存量	38
表 7.1	流動性地下水の地下水開発可能量	41
表 7.2	停滞性地下水の地下水開発可能量	43

第1章 探查概要

第1章 探査概要

1.1 目的

パルチスタン州のクエッタ (QUETTA)、カラート (KALAT) 両地区において、ヘリコプターによる広域の地下水探査を実施して、地下水脈の分布を把握し、地下水かんがい計画策定の基礎とする。

1.2 空中選択ガンマ線探査

1.2.1 探査装置及び探査方法

空中選択ガンマ線探査の方法及びその装置は日本特許による方式とした。地表ガンマ線の検出は、ヘリコプターの胴体の両側に固定した2個のパッケージ及び機体内に装着した空中ガンマ線検出器を用いて実施した。この検出器は、亀裂地下水脈のガンマ線検出において、それを擾乱する宇宙線等の環境ガンマ線の影響を取り除く機能を有する。ヘリコプターの胴体の下部には、飛行測線を撮影する垂直カメラ、ビデオカメラが設置されている。飛行測線の測定中に有力な開口亀裂系が検出された場合、その検出位置を知るためのモニター類に、その信号が入り、ビデオの測線映像の中に検出信号がインプットされる。検出ガンマ線は、磁気テープに記録し、これを解析して地下水脈の判定を行う。(図1.1、図1.2)

図 1.1 空中選択ガンマ線探査装置の機構

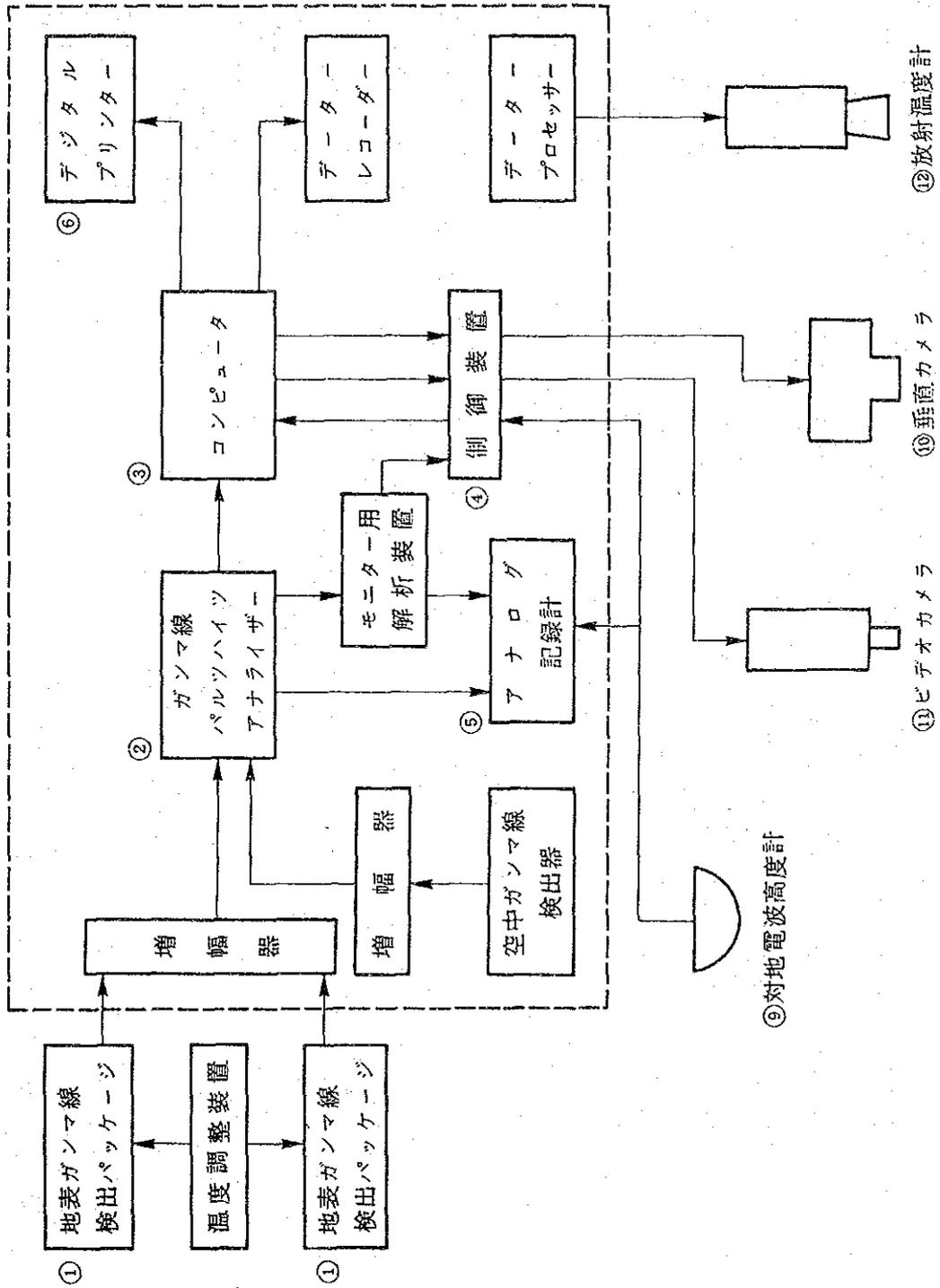
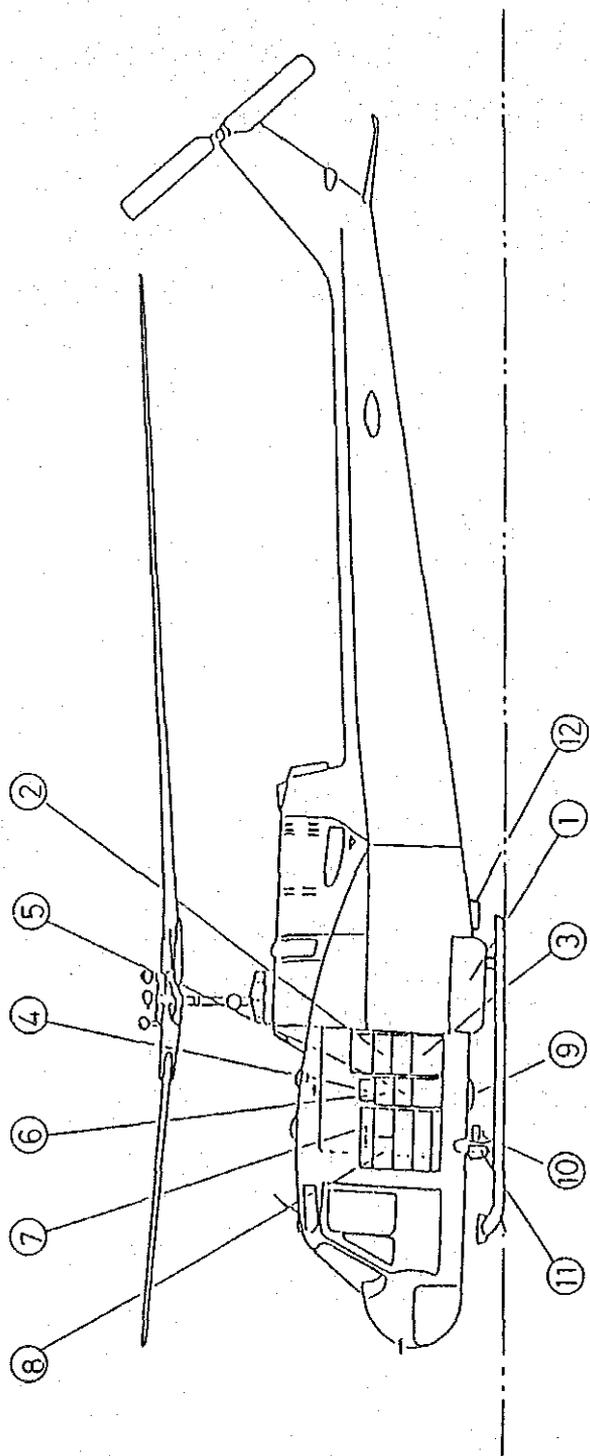


図 1.2 空中選択ガンマ線探査専用機の構成図



- | | | | |
|---|-----------------|---|----------|
| ① | ガンマ線検出パッケージ | ⑦ | ビデオカセッター |
| ② | ガンマ線バルスハイツアナライザ | ⑧ | ビデオモニター |
| ③ | コンピュータ本体 | ⑨ | 対地電波高度計 |
| ④ | コンピュータコントローラ | ⑩ | 垂直カメラ |
| ⑤ | アナログ記録計 | ⑪ | ビデオカメラ |
| ⑥ | デジタルプリンター | ⑫ | 放射温度計 |

1.2.2 調査期間

ガンマ線探査に要した調査期間は下記のとおりである。

(1) 現地作業

1986年6月12日より7月21日、8月1日より8月31日までは、日本からの機材の受け入れ準備、各種許可の取得、探査作業事前準備を行った。

9月15日から11月14日までは、探査作業及びそれらに係わる作業を行った。

(2) 国内作業

1986年11月15日から、1987年3月14日まで解析作業を行った。

第 2 章 空中探査作業

第2章 空中探査作業

2.1 地上基地およびヘリパッド

ヘリコプター使用に伴うガンマ線探査の地上基地は、クエッタとカラート地区で各1ヶ所ずつ下記のように設けた。

(1) クエッタ地区

クエッタ地区の探査区域中心部の州政府所有の建物を地上基地として用いた。

ヘリコプターが離発着するヘリパッドは、上記建物の前に設営したが、ヘリパッド用の鉄板が入手できず、ヘリパッド及び、作業車の出入りする道路に砂利を厚めに入れ、WAPDAの散水車で散水しながら使用した。

なお、ヘリコプターは毎日クエッタ空港からヘリパッドへ移動させ作業した。

(2) カラート地区

カラート地区はカラートの町にある州政府の宿泊所を、地上基地として用いた。

ヘリパッドは国道25号沿いで、カラートの町から北6kmの地点にあるパキスタン陸軍のヘリパッドを使用した。

両地区の探査飛行で収集したデータは、日本より輸送した特殊車両に搭載した機材で確認した。

2.2 探査測線

探査測線の設定は、地下水脈の全貌を把握することを重点とするため、クエッタ、カラートの両調査地区とも原則として1000mピッチとし、図2.1、2.2の測線配置図に示したよりに、調査地区全域をカバーした。なお、一部の地区で試験的に500mピッチとした。

この測線間隔の設定は、大陸的地形で、地質構造のスケールが大きく、破碎帯の長さが数10kmから100km以上のものが見られているので、この測線間隔で地下水脈は充分検出できると判断した。

探査測線の本数は、クエッタ地区で南北30測線、東西25測線、カラート地区で南北12測線、東西16測線となった。

飛行方向は、両地区とも、南北測線は西端の測線を基線にして北から南へ、東西測線は北端の測線を基線にして西から東へ測定飛行した。

また、測定飛行を正確に行うため、ヘリコプターの位置確認は電波測位機を使用した。

基準点の設定は重要なところは、サーベイオブパキスタンに測量を依頼し、従局を設定した。

基準点はクエッタ地区で合計13ヶ所、カラート地区で合計7ヶ所となった。

なお、測線番号は両地区とも南北測線は西端測線から、東西測線は北端測線からそれぞれ測線番号をつけ、測線配置図に示した。

2.3 探査区画

空中探査を実施した地域は、クエッタ地区(28,000ha)とカラート地区(12,000ha)の2地区で総面積は40,000haである。クエッタ地区をA, B, B', C, D, E, F, G, H, I, の10ブロックに、カラート地区をA, B, C, Dの4ブロックに分割して探査を行った。

(図2.1、図2.2)

各ブロックの面積は、下記のとおりである。

ブロック名	面積
クエッタ地区	
A	4,700 ha
B	1,430 ha
B'	2,500 ha
C	1,500 ha
D	3,500 ha
E	2,600 ha
F	3,300 ha
G	3,650 ha
H	3,250 ha
I	<u>1,570 ha</u>
	計 28,000 ha
カラート地区	
A	4,200 ha
B	1,800 ha
C	3,000 ha
D	<u>3,000 ha</u>
	計 <u>12,000 ha</u>
	総合計 40,000 ha

2.4 測定高度及び飛行速度の設定

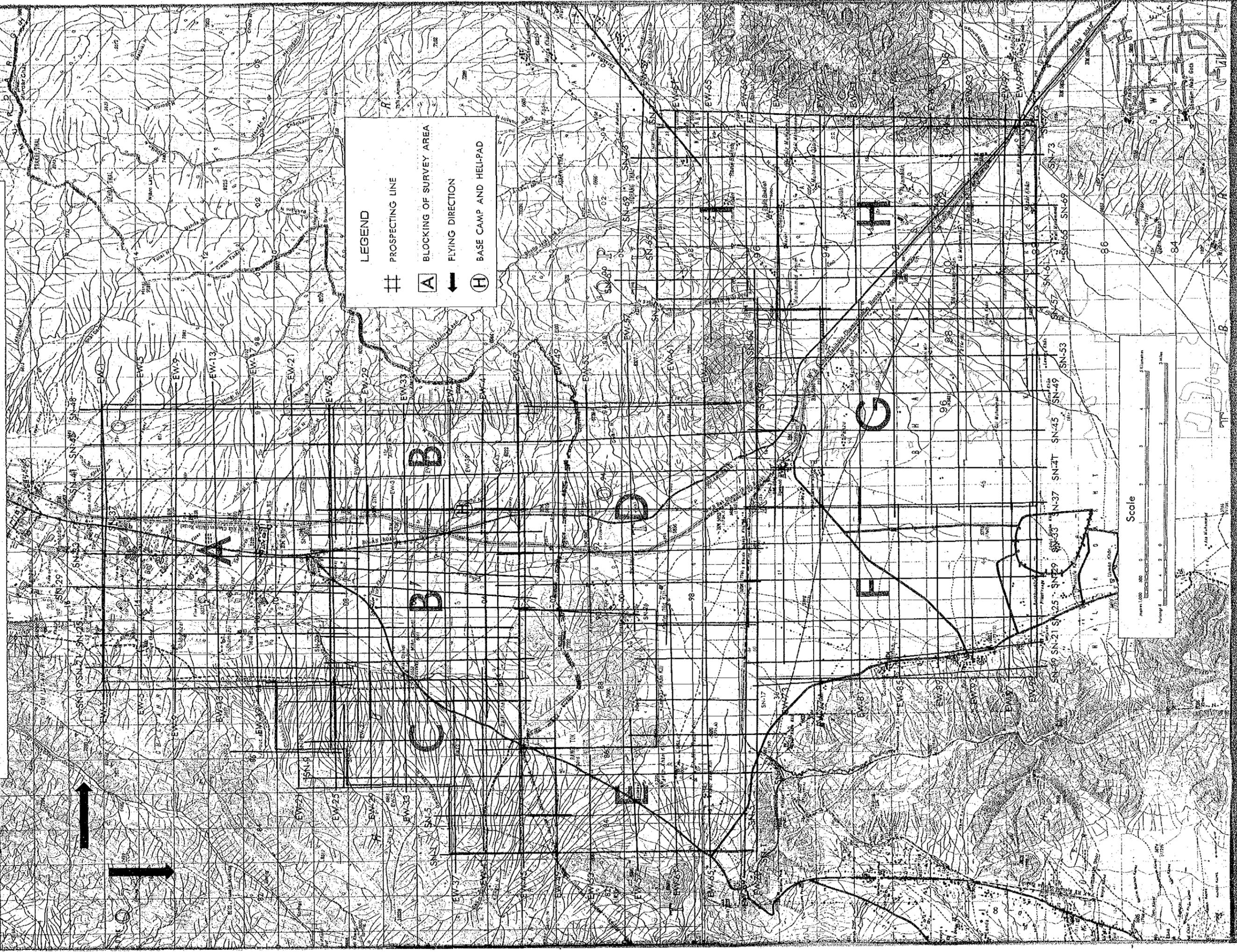
ヘリコプターによる選択ガンマ線強度の測定は、対地高度が変化するとガンマ線計数の誤差が大きく変化して、探査精度を低下させる要因となる。

このため飛行高度は、日本において検出効率の最もよい対地 100m に設定し、測定中のヘリコプターの飛行高度は、電波高度計の指示により一定に維持した。

測定中のヘリコプターの飛行速度は、日本において最もよい探査結果を得ている毎時 90 km に設定した。

ヘリコプターの飛行コースは、座標上の電波測位機からの信号に従いコース上を測定した。

FIG.2.1 PROSPECTING LINE BY HELI-SURVEY
QUETTA AREA



LEGEND

- # PROSPECTING LINE
- A BLOCKING OF SURVEY AREA
- FLYING DIRECTION
- H BASE CAMP AND HELI-PAD

Scale

Meters 0 500 1000
Kilometers 0 5 10

FIG.2.2

PROSPECTING LINE BY HELI-SURVEY
KALAT AREA

