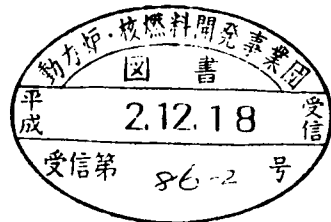


JNC TN7400 2005-016



子  
PNC N7410-90-020

本資料は 2000年 3月 31日付で登録区分 変更する。
研究調整 Gr 【管理担当箇所名】

社内一般

図書室

# 平成元年度技術開発課年報

1990年4月

## 動力炉・核燃料開発事業団

中部事業所・技術開発課

この資料は、動燃事業団社内における検討及び周知を目的とする社内資料です。刊行物に引用する場合には、事業団の承認が必要です。

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部又は一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地4-9  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構  
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)



## 平成元年度技術開発の現況

### はじめに

本編は中部事業所技術開発課の平成元年度業務のうち主なものについてその成果を取りまとめたものである。

平成元年度は前年度に引き続きウラン探査技術開発、採鉱技術開発、地層科学技術開発のほか平成元年2月の金属鉱山等保安規則改正にともなう周辺監視区域設定のためのガス拡散実験を行った。

技術開発課の業務としてこの他分析の実施、東濃鉱山の維持管理など定常業務などを行った。

平成元年度組織は図に示す通りである。

リモートセンシング及び物理探査グループ、核種探査グループ、分析グループ及び鉱山の維持管理グループの4グループに分けた。

リモートセンシング及び物理探査グループはリモートセンシング画像判読と解析、現地調査による岩石のスペクトル特性測定（中国オーストラリア）、地表調査技術開発（精密電磁法開発、オーストラリアルードル地域への物理探査法予備調査）、試錐孔を利用した調査法の開発（地熱流量探査法の開発とクロスホール調査法の開発）や評価技術開発としてIRESS（ウラン資源探査のための知的支援システム）の開発とASURA（高度集中解析システム）の開発などを行った。

核種探査法の開発はラドンガス測定器開発（採鉱技術開発）、4チャンネルカーボン調査による断層調査の実施や坑外インプレースリーチングの開発等を行った。

地層科学研究のナチュラルアナログ研究で採取される自然水や岩石の分析、ウラン探査で採取される岩石分析や鉱山保安のためのモニタリング地下水分析などは分析グループが実施した。

東濃鉱山の保坑や保安に関する業務は鉱山グループが実施した。

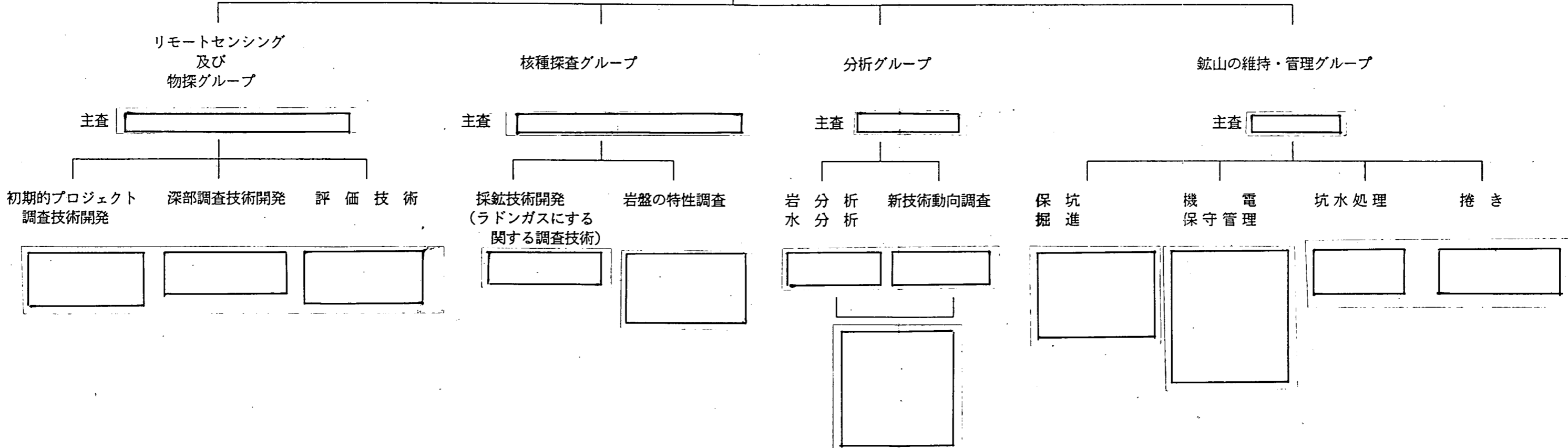
### 委託報告書リスト

- (1) トレーサー試験の予備解析及び事後解析 清水建設 PNC SJ7060 90-01
- (2) IRESSの開発（その2） 情報数理研究所 PNC SJ7359 90-001
- (3) 高度集中解析システム拡張機能開発及び調査 野村総合研究所 PNC SJ7259 90-001
- (4) 熱流量探査装置の開発（その3） 日鉱探開 PNC SJ7363 90-002
- (5) 時間領域電磁法を用いた精密電磁法開発 三井金属資源開発 PNC SJ7187 90-002
- (6) レーダ法に関する岩石物性試験（その3） 川崎地質 PNC SJ7374 90-001
- (7) 高品位ウラン鉱床の採鉱法の設計とその基礎研究 資源素材学会 PNC SJ4542 90-002

# 技術開発課 組織図

平成元年4月1日

課長 鯉沼 稔  
課長代理 坪田 浩二



○ 責任者  
(兼) 兼務  
(嘱) 嘱託  
(ア) アルバイト  
(委) 委託



# 目 次

1. ウラン探査技術開発	
1.1 平成元年度リモートセンシングデータ購入リスト	1
1.2 オーストラリアマスグレーブ域のランドサット画像解析	11
1.3 リモートセンシング解析のための現地調査	25
1.4 中国北票地区のランドサットTMデータ解析	39
1.5 画像処理技術支援について	52
1.6 熱流量探査装置の開発	64
2. 採鉱技術開発	
2.1 坑外インプレースリーチング技術開発	82
3. 地層科学技術開発	
3.1 広域地質環境評価のための断裂系調査	121
3.2 レーダ法による岩盤特性	126
3.3 4チャンネルカーボンによる断層調査	172
3.4 室内岩石透水試験(その3)	189
4. 金属鉱山等保安規則改正にともなう事項	
4.1 SF6拡散実験	212

# 1. ウラン探査技術開発

## 1.1 平成元年度リモートセンシングデータ購入リスト

担当 小出 馨

技術開発課は、平成元年度において以下のリモートセンシングデータを購入した。

### (1) ブラジル

地区名 : リオフレスコ地区

データ : スポットHRVデータ (マルチスペクトルモード)

参照グリッド : 699-366、367、368、369

700-366、367、368、369

701-367、368、369

データ形式 : 1/40万カラーポジフィルム (ステレオペア)

1/10万カラープリント (ステレオペア)

### (2) カナダ

地区名 : アサバスカ東部地区 (ミッドウエスト周辺)

データ : スポットHRVデータ (マルチスペクトルモード)

参照グリッド : 549-231

550-231

データ形式 : 磁気テープ (ステレオペア)

1/10万カラープリント (ステレオペア)

### (3) 日本

地区名 : 岐阜県東濃地区

データ : スポットHRVデータ (マルチスペクトルモード)

参照グリッド : 326-279

データ形式 : 磁気テープ (ステレオペア)

リモートセンシングデータ取得状況(90.03.31現在)北米地域

国名・PROJECT名	データ名	PATH-ROW	データの種別	対象地域	購入状況
CANADA					
* DAWN LAKE P.	LANDSAT	040-018	MSS (FCP)	KASBA LAKE	○
	LANDSAT	040-019	MSS (FCP)	WOLLASTON LAKE	○
	LANDSAT	040-020	MSS (FCP)	REINDEER LAKE	○
	LANDSAT	041-019	MSS (FCP, CCT)	WOLLASTON LAKE	○
	LANDSAT	041-020	MSS (FCP, CCT)	KEY LAKE	○
	LANDSAT	042-018	MSS (FCP)	BLACK LAKE	○
	LANDSAT	042-019	MSS (FCP)	KEY LAKE	○
	LANDSAT	042-020	MSS (FCP)	REINDEER LAKE	○
	LANDSAT-5	038-019 D	T M (FCP, CCT)	WOLLASTON LAKE	○
* THEKULTHILI P.	LANDSAT	047-017	MSS (FCP, CCT)	THEKULTHILI LAKE	○
* DUBAWNT P.	LANDSAT	040-016	MSS (FCP)	TULEMALU LAKE	○
	LANDSAT	041-015	MSS (FCP)	ABERDEEN LAKE	○
	LANDSAT	042-015	MSS (FCP)	ABERDEEN LAKE	○
	LANDSAT	042-016	MSS (FCP, CCT)	DUBAWNT LAKE	○
* MIDWEST P.	SPOT	549-231	HRV (FCP, CCT, S)	MIDWEST LAKE	○ N
	SPOT	550-231	HRV (FCP, CCT, S)	MIDWEST LAKE	○ N
* その他	LANDSAT	045-019	MSS (FCP, CCT)	CLUFF LAKE	○
	LANDSAT	041-018	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	043-018	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	043-019	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	044-020	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	045-018	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	046-020	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	047-018	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	047-019	MSS (FCP)	ATHABASCA BASIN	○
	LANDSAT	015-021	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	015-022	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	017-020	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	017-021	MSS (FCP, CCT)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	017-022	MSS (FCP, CCT)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	017-023	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	019-021	MSS (FCP, CCT)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	019-022	MSS (FCP, CCT)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	019-023	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	019-024	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○
	LANDSAT	021-022	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○
LANDSAT	021-023	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○	
LANDSAT	021-024	MSS (FCP)	SAKAMI LAKE AREA	○	
USA					
* POWDER RIVER P.	LANDSAT	037-030	MSS (FCP)	POWDER RIVER BASIN	○
	LANDSAT	038-030	MSS (FCP)	POWDER RIVER BASIN	○
* その他	SPOT	550-277	HRV (FCP, MM, S)	GRAND CANYON	○
	SPOT	550-277	HRV (BWP, PM)	GRAND CANYON	○

○ : 納品済 △ : 発注済

※ : 発注予定  
N : 今年度購入

FCP : False Color Print    NCP : Natural Color Print  
TCP : True Color Print    CCT : Computer Compatible Tape  
BWP : Black & White Print    PM : Panchromatic mode  
S : Stereo    MM : Multispectral mode

リモートセンシングデータ取得状況 (00.03.31現在) オーストラリア地域(1)

国名・PROJECT 名	データ名	PATH-ROW	データの種類	対象地域	購入状況
A U S T R A L I A					
* MULGAROCK P.	LANDSAT LANDSAT-5	115-081 108-081	MSS (FCP, CCT) T M (FCP, CCT)	OFFICER BASIN OFFICER BASIN	○ ○
* TUREE CREEK P.	LANDSAT	120-076	MSS (FCP)	TUREE CREEK	○
* GEORGE TOWN P.	LANDSAT LANDSAT LANDSAT	101-074 103-072 104-073	MSS (FCP) MSS (FCP) MSS (FCP)	TOWNS VILLE TOWNS VILLE GEORGE TOWN	○ ○ ○
* TANAMI P.	LANDSAT-5 LANDSAT-5 LANDSAT-5 LANDSAT-5 LANDSAT-5 LANDSAT-5 SPOT SPOT SPOT SPOT SPOT SPOT SPOT	105-073 105-074 106-073 106-073 106-074 106-074 336-388 336-389 337-388 337-389 377-390 377-390	MSS (FCP, CCT) MSS (FCP, CCT) MSS (FCP, CCT) T M (FCP, CCT) MSS (FCP, CCT) T M (FCP, CCT) HRV (FCP, MM, S) HRV (FCP, MM, S) HRV (FCP, MM, S) HRV (FCP, MM, S) HRV (FCP, MM, S) HRV (FCP, MM, S) HRV (BWP, PM, S)	GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI GRANITE TANAMI	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
* STUART SHELF P.	LANDSAT LANDSAT LANDSAT LANDSAT LANDSAT-5 LANDSAT-5 LANDSAT-5	105-081 105-082 106-081 106-082 098-083 099-081 099-082	MSS (FCP, CCT) MSS (FCP, CCT) MSS (FCP, CCT) MSS (FCP, CCT) MSS (FCP, CCT) T M (FCP, CCT) T M (FCP, CCT)	OLYMPIC DAM OLYMPIC DAM OLYMPIC DAM OLYMPIC DAM ROOPENA OLYMPIC DAM OLYMPIC DAM	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

○ : 納品済    △ : 発注済    ※ : 発注予定    FCP : False Color Print    NCP : Natural Color Print  
 N : 今年度購入    TCP : True Color Print    CCT : Computer Compatible Tape  
 BWP : Black & White Print    PM : Panchromatic mode  
 S : Stereo    MM : Multispectral mode

リモートセンシングデータ取得状況 (90.03.31現在) オーストラリア地域(2)

国名・PROJECT 名	データ名	PATH-ROW	データの種類	対象地域	購入状況
A U S T R A L I A					
* その他	LANDSAT	110-069	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	110-069	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	110-070	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	110-071	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	111-068	M S S ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	111-069	M S S ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	111-069	M S S ( F C P )	" (他時期)	○
	LANDSAT	111-070	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	111-071	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	112-068	M S S ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	112-069	M S S ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	112-069	M S S ( F C P )	" (他時期)	○
	LANDSAT	112-070	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	112-071	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	113-069	M S S ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	113-070	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT	113-071	M S S ( F C P )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT-5	104-068	T M ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT-5	104-069	T M ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT-5	105-068	T M ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT-5	105-069	T M ( F C P , C C T )	NORTHERN TERRITORY	○
	SPOT	340-374	H R V ( F C P , M M , S )	NORTHERN TERRITORY	○
	SPOT	340-375	H R V ( F C P , M M , S )	NORTHERN TERRITORY	○
	SPOT	341-374	H R V ( F C P , M M , S )	NORTHERN TERRITORY	○
	SPOT	341-375	H R V ( F C P , M M , S )	NORTHERN TERRITORY	○
	LANDSAT-5	105-068	M S S ( F C P )	WOOLNER	○
	LANDSAT-5	105-069	M S S ( F C P , C C T )	WOOLNER	○
	LANDSAT-5	106-068	M S S ( F C P )	WOOLNER	○
	LANDSAT-5	106-069	M S S ( F C P )	WOOLNER	○
	LANDSAT-5	109-075	T M ( F C P , C C T )	RUDALL	○
	LANDSAT-5	109-076	T M ( F C P , C C T )	RUDALL	○
	LANDSAT-5	110-075	T M ( F C P , C C T )	RUDALL	○
	LANDSAT-5	110-076	T M ( F C P , C C T )	RUDALL	○
	SPOT	323-395	H R V ( F C P , M M , S )	RUDALL	○
	LANDSAT-5	098-081	T M ( C C T )	MT. PAINTER	○
	LANDSAT-5	105-078	T M ( F C P , C C T )	MUSGRAVE	○
	LANDSAT-5	106-078	T M ( F C P , C C T )	MUSGRAVE	○
	LANDSAT-5	107-078	T M ( F C P , C C T )	MUSGRAVE	○

○ : 納品済 △ : 発注済

※ : 発注予定  
N : 今年度購入

F C P : False Color Print    N C P : Natural Color Print  
T C P : True Color Print    C C T : Computer Compatible Tape  
B W P : Black & White Print    P M : Panchromatic mode  
S : Stereo    M M : Multispectral mode

リモートセンシングデータ取得状況 (90.03.31現在) 中国地域

国名・PROJECT 名	データ名	PATH-ROW	データの種類	対象地域	購入状況
中国					
* 騰冲 P.	LANDSAT	142-042	MSS (FCP)	雲南省	○
	LANDSAT	142-043	MSS (FCP)	雲南省	○
	LANDSAT	143-042	MSS (FCP)	雲南省	○
* その他	LANDSAT-5	117-031	T M (CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	118-030	T M (CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	118-031	T M (CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	118-032	T M (CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	118-032	MSS (FCP, CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	118-032	MSS (FCP)	東北地区	○
	LANDSAT-5	118-032	MSS (FCP)	" (他時期)	○
	LANDSAT-5	118-032	MSS (FCP)	" (他時期)	○
	LANDSAT-5	118-032	MSS (FCP)	" (他時期)	○
	LANDSAT-5	119-031	MSS (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	119-031	T M (CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	119-032	T M (CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	119-032	MSS (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	119-033	T M (CCT)	遼東半島地域	○
	LANDSAT-5	120-031	MSS (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	120-032	MSS (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	121-031	MSS (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	121-031	T M (CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	121-032	MSS (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	121-032	T M (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-4	122-032	MSS (FCP, CCT)	東北地区	○
	LANDSAT-5	122-032	T M (CCT)	五台山地域	○
	LANDSAT-5	123-032	T M (CCT)	五台山地域	○
	LANDSAT-5	123-033	T M (CCT)	五台山地域	○
	LANDSAT-5	124-032	T M (CCT)	五台山地域	○
	LANDSAT-5	124-033	T M (CCT)	五台山地域	○
	LANDSAT-5	124-034	T M (CCT)	五台山地域	○
	SPOT	286-268	HRV (FCP, MM, S)	建昌 - 北票地区	○
	SPOT	286-268	HRV (BWP, PM, S)	建昌 - 北票地区	○
	SPOT	286-269	HRV (FCP, MM, S)	建昌 - 北票地区	○
	SPOT	286-269	HRV (BWP, PM, S)	建昌 - 北票地区	○
	LANDSAT	128-041	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	128-042	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	128-043	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	129-040	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	129-041	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	129-042	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	129-043	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	129-044	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	130-040	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	130-041	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	130-042	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	130-043	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	130-044	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	130-045	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	131-041	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	131-043	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	131-044	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	131-045	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	132-044	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	132-045	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	133-044	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	133-045	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	133-046	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	134-044	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○
	LANDSAT	134-045	MSS (FCP, CCT)	華南地区	○

○ : 納品済 △ : 発注済

※ : 発注予定  
N : 今年度購入

FCP : False Color Print    NCP : Natural Color Print  
TCP : True Color Print    CCT : Computer Compatible Tape  
BWP : Black & White Print    PM : Panchromatic mode  
S : Stereo    MM : Multispectral mode

リモートセンシングデータ取得状況 (00.03.31現在) アフリカ地域(1)

国名・PROJECT 名	データ名	PATH-ROW	データの種別	対象地域	購入状況
MALI					
*MALI P.	LANDSAT LANDSAT	209-046 210-047	MSS (FCP) MSS (FCP)	AGUEHOK AGUEHOK	○ ○
NIGER					
*NIGER P.	LANDSAT	204-048	MSS (FCP)	INADRAR	○
ZAMBIA					
*ZAMBIA P.	LANDSAT LANDSAT LANDSAT	184-072 184-072 185-072	MSS (FCP) MSS (FCP, CCT) MSS (FCP)	KARIBA LAKE KARIBA LAKE (他時期) KARIBA LAKE	○ ○ ○
その他					
	LANDSAT-5	176-056	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	176-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	177-055	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	177-056	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	177-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	178-055	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	178-056	MSS (FCP, CCT)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	178-056	T M (CCT)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	178-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	179-055	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	179-056	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	179-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	180-056	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	181-056	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	181-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	182-056	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	182-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	183-056	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	183-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	184-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	184-058	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-3	193-057	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-3	195-058	MSS (FCP)	BAKOUMA	○
	LANDSAT-5	171-066	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	171-067	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-060	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-061	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-062	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-063	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-064	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-065	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-065	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-065	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-066	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-067	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-068	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	172-069	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	173-062	MSS (FCP)	OKLO	○

○ : 納品済 △ : 発注済

※ : 発注予定  
N : 今年度購入

FCP : False Color Print    NCP : Natural Color Print  
TCP : True Color Print    CCT : Computer Compatible Tape  
BWP : Black & White Print    PM : Panchromatic mode  
S : Stereo    MM : Multispectral mode



リモートセンシングデータ取得状況 (90.03.31現在) アフリカ地域(2)

国名・PROJECT 名	データ名	PATH-ROW	データの種類	対象地域	購入状況
その他	LANDSAT-5	173-065	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	173-067	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	173-068	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	173-068	T M (CCT)	OKLO	○
	LANDSAT-5	173-069	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	173-069	T M (CCT)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-062	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-063	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-064	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-067	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-068	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-068	T M (CCT)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-069	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	174-069	T M (CCT)	OKLO	○
	LANDSAT-5	175-067	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	175-068	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	175-069	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	181-064	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	181-065	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	183-063	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-3	186-060	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	186-061	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	186-063	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-5	186-064	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-3	193-066	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-3	193-067	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-3	193-068	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-3	194-068	MSS (FCP)	OKLO	○
	LANDSAT-3	195-066	MSS (FCP)	OKLO	○

○ : 納品済 △ : 発注済

※ : 発注予定

N : 今年度購入

FCP : False Color Print

TCP : True Color Print

BWP : Black & White Print

S : Stereo

NCP : Natural Color Print

CCT : Computer Compatible Tape

PM : Panchromatic mode

MM : Multispectral mode

リモートセンシングデータ取得状況(90.03.31現在)南米地域(1)

国名・PROJECT 名	データ名	PATH-ROW	データの種類	対象地域	購入状況
BRAZIL					
*RIO FRESCO P.	LANDSAT-5	220-068	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	220-069	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	220-070	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	220-071	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	221-067	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	221-068	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	221-069	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	221-070	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	221-071	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	222-065	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	222-066	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	222-067	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	222-068	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	222-069	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	222-070	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	222-071	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-063	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-064	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-065	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-066	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-067	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-068	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-069	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-070	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-063	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-064	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-065	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-066	T M (FCP, BWP, CCT)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-067	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-068	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-063	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-064	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-065	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-066	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-067	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-068	T M (BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	226-063	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	226-064	T M (FCP, BWP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	226-065	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	226-066	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	226-067	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	227-063	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	227-064	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	227-065	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	227-066	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	228-063	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	228-064	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	228-065	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	228-066	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	229-063	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	229-064	T M (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	229-065	T M (FCP)	RIO FRESCO	○

○ : 納品済 △ : 発注済

※ : 発注予定  
N : 今年度購入

FCP : False Color Print    NCP : Natural Color Print  
TCP : True Color Print    CCT : Computer Compatible Tape  
BWP : Black & White Print    PM : Panchromatic mode  
S : Stereo    MM : Multispectral mode

リモートセンシングデータ取得状況(90.03.31現在)南米地域(2)

国名・PROJECT 名	データ名	PATH-ROW	データの種類	対象地域	購入状況
BRAZIL					
*RIO FRESCO P.	LANDSAT-5	223-066	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	223-067	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-066	MSS (FCP, CCT)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	224-067	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-066	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT-5	225-067	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	239-067	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	240-064	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	240-065	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	240-066	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	240-067	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	240-068	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	241-064	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	241-065	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	241-066	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	241-067	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	241-068	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	242-064	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	242-065	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	242-066	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	242-067	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	LANDSAT	242-068	MSS (FCP)	RIO FRESCO	○
	SPOT	699-366	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	699-367	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	699-368	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	699-369	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	700-366	HRV (FCP, MM)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	700-367	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	700-368	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	700-369	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	701-367	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○N
	SPOT	701-368	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○
	SPOT	701-369	HRV (FCP, MM, S)	RIO FRESCO	○

○ : 納品済 △ : 発注済

※ : 発注予定

N : 今年度購入

FCP : False Color Print

TCP : True Color Print

BWP : Black & White Print

S : Stereo

NCP : Natural Color Print

CCT : Computer Compatible Tape

PM : Panchromatic mode

MM : Multispectral mode

リモートセンシングデータ取得状況(90.03.31現在)日本

国名・PROJECT名	データ名	PATH-ROW	データの種類	対象地域	購入状況
日本	LANDSAT-4	113-036	MSS (FCP)	山口	○
	LANDSAT	117-035	MSS (FCP)	高山	○
	LANDSAT	117-036	MSS (FCP)	伊勢	○
	LANDSAT	118-035	MSS (FCP)	鳥取	○
	LANDSAT	118-035	MSS (FCP)	鳥取	○
	LANDSAT	118-036	MSS (FCP)	岡山	○
	LANDSAT	121-036	MSS (FCP)	山口	○
	LANDSAT	121-037	MSS (FCP)	北九州	○
	LANDSAT-5	107-032	T M (FCP)	盛岡	○
	LANDSAT-5	108-029 B	T M (CCT)	徳島	○
	LANDSAT-5	108-032	T M (FCP)	弘前	○
	LANDSAT-5	108-033	T M (FCP)	鶴岡	○
	LANDSAT-5	108-036	T M (FCP)	静岡	○
	LANDSAT-5	109-035 D	T M (FCP, CCT)	東濃	○
	LANDSAT-5	109-036	T M (FCP)	名古屋	○
	LANDSAT-5	110-036	T M (FCP)	京阪神	○
	LANDSAT-5	111-035	T M (FCP)	倉吉	○
	LANDSAT-5	111-036	T M (FCP)	瀬戸内	○
	LANDSAT-5	112-037	T M (TCP)	大分	○
	LANDSAT-5	112-037	T M (FCP)	大分	○
	LANDSAT-5	112-037	T M (NCP)	大分	○
	LANDSAT-5	112-037	MSS (FCP)	大分	○
	LANDSAT-5	112-038	T M (FCP)	日南	○
	LANDSAT-5	112-038	MSS (FCP)	日南	○
	LANDSAT-5	111-035 D	T M (CCT)	倉吉	○
	LANDSAT-5	112-036 C	T M (CCT)	秋	○
	LANDSAT	117-035	1/50万MSS・FCP	高山	○
	SPOT	326-279	HRV (CCT, S)	東濃	○△N
	MOS-1	022-069	MESSR (FCP)	高山	○
	MOS-1	022-071	MESSR (FCP)	名古屋	○
	SAR+LANDSAT		1/20万合成画像	阿蘇・豊肥	○
SAR		1/20万白黒写真	飯田	○	
SAR		1/20万白黒写真	鳥取	○	
SAR		1/20万白黒写真	姫路	○	
SAR		1/20万白黒写真	松江	○	
SAR		1/20万白黒写真	高梁	○	
SAR		1/20万白黒写真	山口	○	
その他	SIR		1/50万白黒写真	北・南アメリカ大陸	○
			1/50万白黒写真	オーストラリア大陸	○
			1/50万白黒写真	アジア大陸	○
			1/50万白黒写真	アフリカ大陸	○
			1/50万MSS・FCP	中国全土(828シーン)	○
	LANDSAT				

○:納品済 △:発注済

※:発注予定  
N:今年度購入

FCP: False Color Print NCP: Natural Color Print  
TCP: True Color Print CCT: Computer Compatible Tape  
BWP: Black & White Print PM: Panchromatic mode  
S: Stereo MM: Multispectral mode

## 1.2 オーストラリア・マスグレーブ域の ランドサット画像解析

《地質判読および地域評価》

担当 和田 洋明

### 1. はじめに

本解析は、PNC (Australia)の要請(昭和63年)により実施したもので、昭和63年度にランドサット・TMデータおよび地質図・物探データ等、解析に必要な資料・情報を収集し、平成元年度に判読・解析を行い、本域のその結果と地質・物探等に関する既存データとを総合し、ウラン探査有望地として1地区を選定した。

尚、判読・解析の詳細については別に“オーストラリア・マスグレーブ地域におけるランドサット画像の判読・解析業務報告書、平成元年9月<“PNC SJ7361 89-002”>がある。

### 2. 判読・解析の目的

PNC (Australia)からのコメントおよびキンタイヤー鉱床の地質・鉱床特性に関する情報をもとに以下1)、2)を設定した。

- 1) マスグレーブ域の地質・地質構造特性(概要)を衛星データ(ランドサット・TMデータ)を用いて抽出する。
- 2) 1)の結果から既知情報を参考にキンタイヤー鉱床と類似の特性を有する地区(有望地)を抽出する。



上記の目的に沿い、判読・解析のターゲット項目として下記を設定した。

#### 判読・解析ターゲット項目

##### (1) 地質構造

- ① 構造線(断層・褶曲)、② 不整合、③ 環状構造

##### (2) 岩層区分

- ① 始生界、原生界(上、中、下)およびその他の区分
- ② 花崗岩類、火山岩類、堆積岩類(炭酸塩岩、泥質、砂質の区別)
- ③ 貫入岩
- ④ 変質帯

### 3. 判読・解析の方法

#### 3-1 対象域

図-1に示す、西オーストラリア中部（マスグレーブ）地域

#### 3-2 使用画像

表-1のランドサット・TMデータを用いたカラー合成画像（2+4+7）を使用した。  
青 緑 赤

表-1 TMデータ

シートNo.	パス	ロー	撮影年月日
1	105	78	1988. 8.13
2	106	78	1988. 9.21
3	107	78	1988. 9.12

#### 3-3 判読・解析の方法およびフロー（流れ）

判読・解析はPNC（Aust.）のコメントをも考慮し、ランドサット画像情報のみによる\*1一次判読と、地質図などの他の情報を加えた\*2二次判読にわけて実施した。

（判読は外部委託で実施、フロー図<図-2>参照）

\*1 一次判読 ..... ランドサットTM画像のみ

\*2 二次判読 ..... ランドサットTM画像

+

・地質図<1/25万>  
・先に実施したルーダル域の判読・解析結果  
・キンタイヤー鉱床に関する既知情報

##### 1) 一次判読

図-2のフロー図に示したように、まず断裂としてのリニアメントを判読し、リニアメントの発達史に関する解釈を入れ、リニアメントの系統区分を行い、更に構造地質学的解釈により地域差から地質構造区を区分。

また、組織地形として見出せる縞状構造（片理・層理面構造）および肌理・色調と先のリニアメントを総合し、岩相区分を実施。

##### 2) 二次判読

既存の地質図ならびに文献による情報を加え、一次判読の見直しと細部の検討を行い、解析を実施。

#### 4. 判読・解析結果（概要）

判読・解析の詳細は前述の報告書（平成元年9月）参照。

##### 4-1 一次判読と二次判読

地質判読およびリニアメント判読の結果を比較して見ると、類似した結果が得られている。

##### 4-2 構造区

一次判読によるリニアメントの分布傾向により5構造区に区分した。

##### 4-3 環状構造

判読・解析の結果、N-S系の大規模構造線沿いおよびP107-R78画像中のラテライト分布域の西端を北から南に流れる氾濫原中に多数の環状構造が識別された。

（この結果を参考に前年度に判読を終了しているルーダル域の画像を見直した結果、キンタイヤー鉱床周辺でもかなり多数の環状構造が分布することが分かった。）

#### 5. キンタイヤー鉱床と類似の構造を有する地区の検討

パース事務所から入手した資料およびランドサット画像の判読結果から、キンタイヤー鉱床周辺の特徴をとりまとめ、その結果をもとに本域内でキンタイヤー鉱床と類似の特徴を有する地区の抽出を行った。

##### 5-1 キンタイヤー鉱床の特徴

以下1)、2)、3)のようにまとめられる。

###### 1) PNC資料等によるキンタイヤー鉱床周辺域の特徴

(1) 鉱床タイプ；不整合関連型

(2) 鉱床胚胎母層；RMC中の上部層

(L. P. でM. P. との不整合から約1km)

• graphite-quartz-mica schist

• chlorite schist

• meta-carbonate(banded carbonate rock)

• BIF

(3) 基盤；RMCの下部(Archean ~M. P.)

..... Gneiss, Granite

(4) 構造；NNW系の断層が近くに存在する。

(5) 随伴元素；Bi, Cu, Pb, Zn(S), Au, Pt

(6) 鉱床の北方約1kmにMg-Anomaly(L)あり。

2) ランドサット画像(判読)上での特徴(キンタイヤー鉱床周辺)

- (1) NNW-SSE系のリニアメントが比較的大規模に発達する。

また、キンタイヤー鉱床より約60km程度の範囲に直径3km程度の環状構造が複数箇分布する。

- (2) Banded Marble(地質図上でPlk)と推定される画像上で、黒っぽく見える露頭が小規模に分布している。

- (3) 鉱床胚胎母層であるRudall Metamorphic Complex(RMC)はランドサット画像上で微細な層状の組織地形(内部構造)を示し、色調は赤紫~青緑色を呈す。

3) 既存物探データから見た特徴

- (1) 重力図; 鉱床は正異常と負異常の中間部に位置し、重力値は-24.3mgal程度。

- (2) Radiometric; コンター変化が激しく、岩相変化とは非調和的である。

5-2 類似地区の抽出

5-1の1)、2)、3)にまとめた特徴の中から①鉱床胚胎母層、②基盤、③構造、④随伴元素、⑤物探データ上の特徴を評価項目とし、対象範囲内について検討した結果、図-3に示した地区(1地区)を有望地として評価抽出した。

以下に有望地周辺の①~⑤に関する特徴と抽出結果を述べる。

5-2-1 有望地周辺の特徴

① 鉱床胚胎母層について

キンタイヤー地区に見られるRMC(Rudall Metamorphic Complex)中のYounger層群と同様の特徴を有するQuartz and Quartz-muscovite schist(Pq)が有望地周辺に分布している。これらは、ランドサット画像上で色調(淡青色)、肌理(微細構造)および光沢度などがキンタイヤー地区のものと似ている。

..... 図-4

② 基盤について

(1)でのべたPqの基礎とも考えられるGneiss(Pbg)がPqの周辺に分布している。

..... 図-4

③ 構造

・線状構造(リニアメント)はNNW-SSE系が顕著で、キンタイヤー地区と同様の傾向が認められる。..... 図-5

・環状構造は、キンタイヤー鉱床から60km以内に直径3km程度の環状構造がいくつか分布しているが、本域においても直径1~5km程度のものが多数分布している。..... 図-6 a, b

④ 随伴元素

選定地の南東約15kmのGabbroic rock分布域(2次判読図上でPo)でCu, Vの鉱化が認められている。(地質図上)



⑤ 物探データ

・重力(図) : 選定地区の南東約30kmにHigh-anomaly, 北西約80kmにLow-anomaly  
が認められ、選定地区の重力値は0～-50.0mgalの範囲である。

..... 図-7

・磁気(図) : 選定地区周辺はlow magnetic域である。..... 図-8

5-2-2 抽出結果

図-3～8中に示すキンタイヤー鉱床周辺の地質・地質構造及び物探データ上での特性と類似の特徴《鉱床胚胎母層、基盤、地質構造<リニアメント、環状構造>、物探データ<重力、磁気>等》を示す一地区を有望地として選定した。

6. ま と め

PNC (Australia)が平成2年以降に探査を予定しているオーストラリア・マスグレーブ域において、特に探査を進める上で重要と考えられる岩石・地質構造を主として、ランドサット・TMカラー合成画像(2+4+7バンド)を用いた判読・解析により抽出した。なお、判読についてはランドサット画像情報のみによる一次判読と地質図・文献等の情報をも参考とした二次判読に分けて実施した。

次に本域においてキンタイヤー鉱床(本域の北西約300kmに位置する)と類似の特徴が認められる地区がないか検討し、鉱床胚胎母層、基盤・地質構造、物探データ上での特徴などが類似する一地区をウラン探査有望地として評価選定した。

7. 参考資料・文献

1) 動燃・アジア航測(株) :

オーストラリア・マスグレーブ地域におけるランドサット画像の判読・解析業務報告書、平成元年8月<PNC SJ7361 89-002>

2) PNC Exploration (Australia) Pty. Ltd. Perth Office :

ルーダル地域の地質鉱床概説及び探査指針案-Kintyre Prospect(CRAE)の発見に関して-1988年1月。

3) PNC Exploration (Australia) Pty. Ltd. :

Rudall地区探査プロポーザル from CRA Exploration Pty. Ltd, 20 May 1988.

4) PNC Exploration (Australia) Pty. Ltd. :

Kintyre物語、10 May 1988.

5) 動燃・中部事業所 :

カナダ・アサバスカ東部域におけるリモートセンシング解析(その1)、1988年3月<PNC SN7410 859-001>.

6) 動燃・中部事業所、技術開発課 :

オーストラリア・タナマイ地域におけるリモートセンシング現地調査報告書、1988年2月<PNC SN4420 88004>.

7) A. Ya, Zyuzin and S. P. Korobeynikova :

Types of Geophysical Ring Anomalies in Connection with the Prediction of Mineral Deposits, 1988.

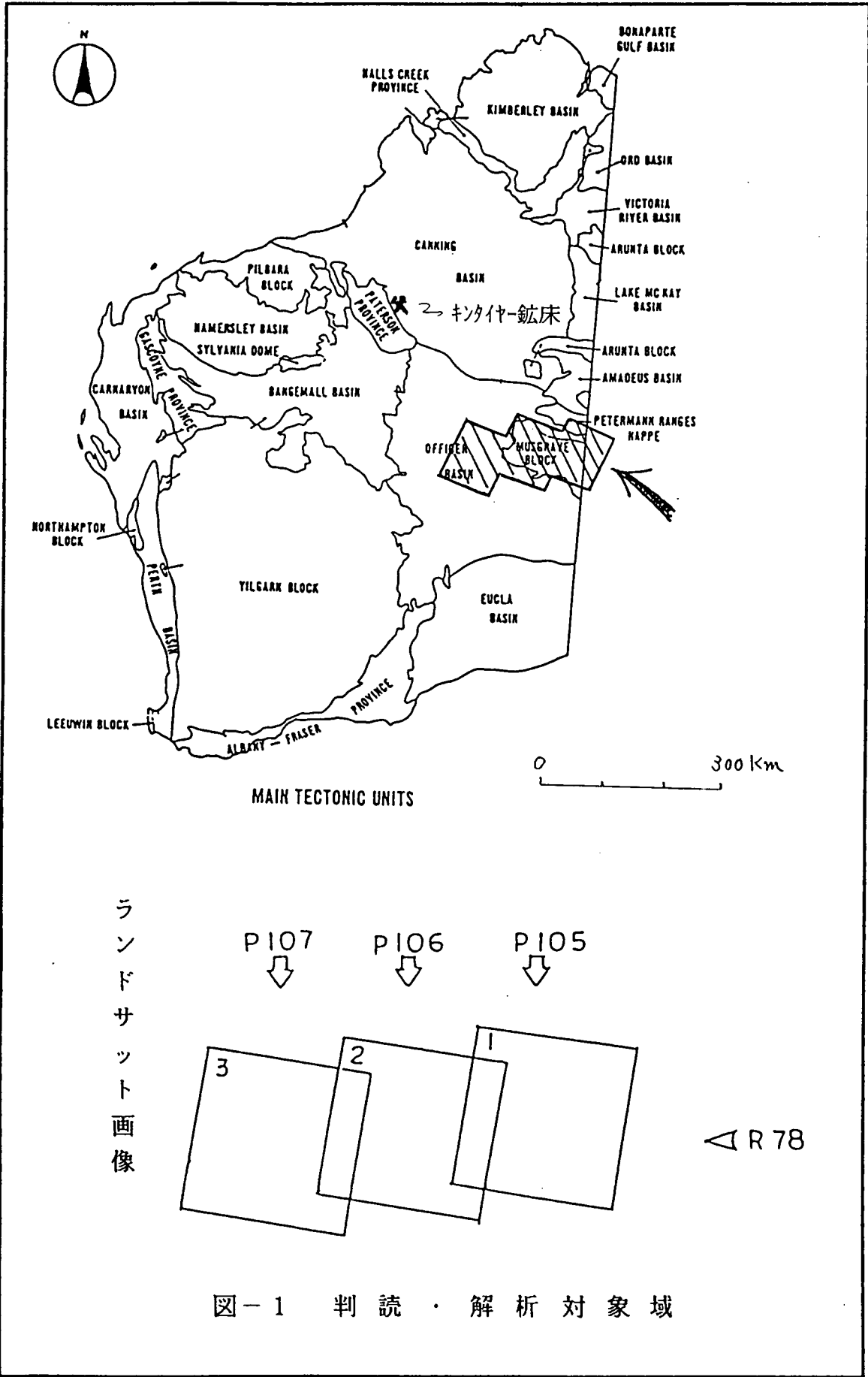


図-1 判読・解析対象域

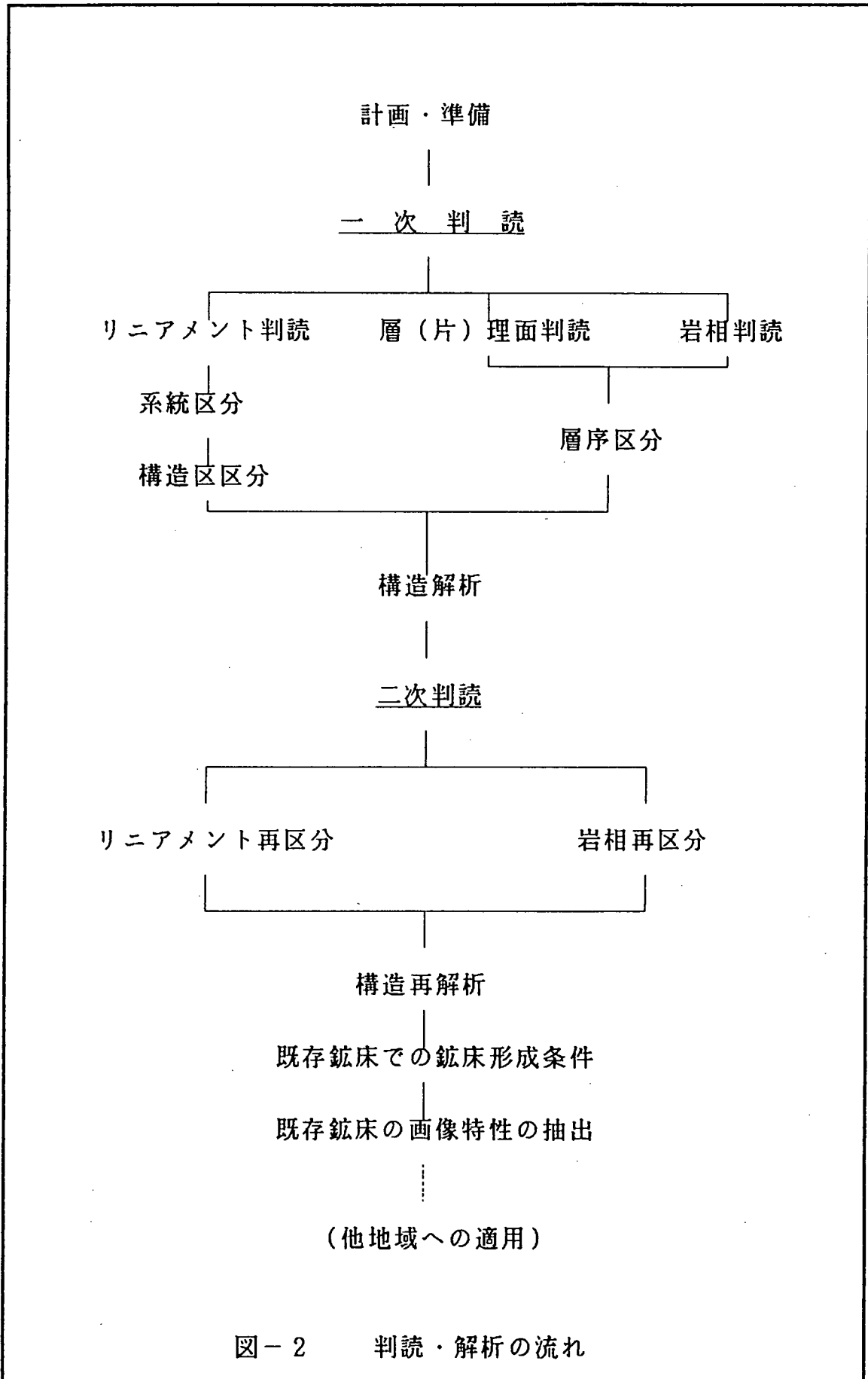


図-2 判読・解析の流れ

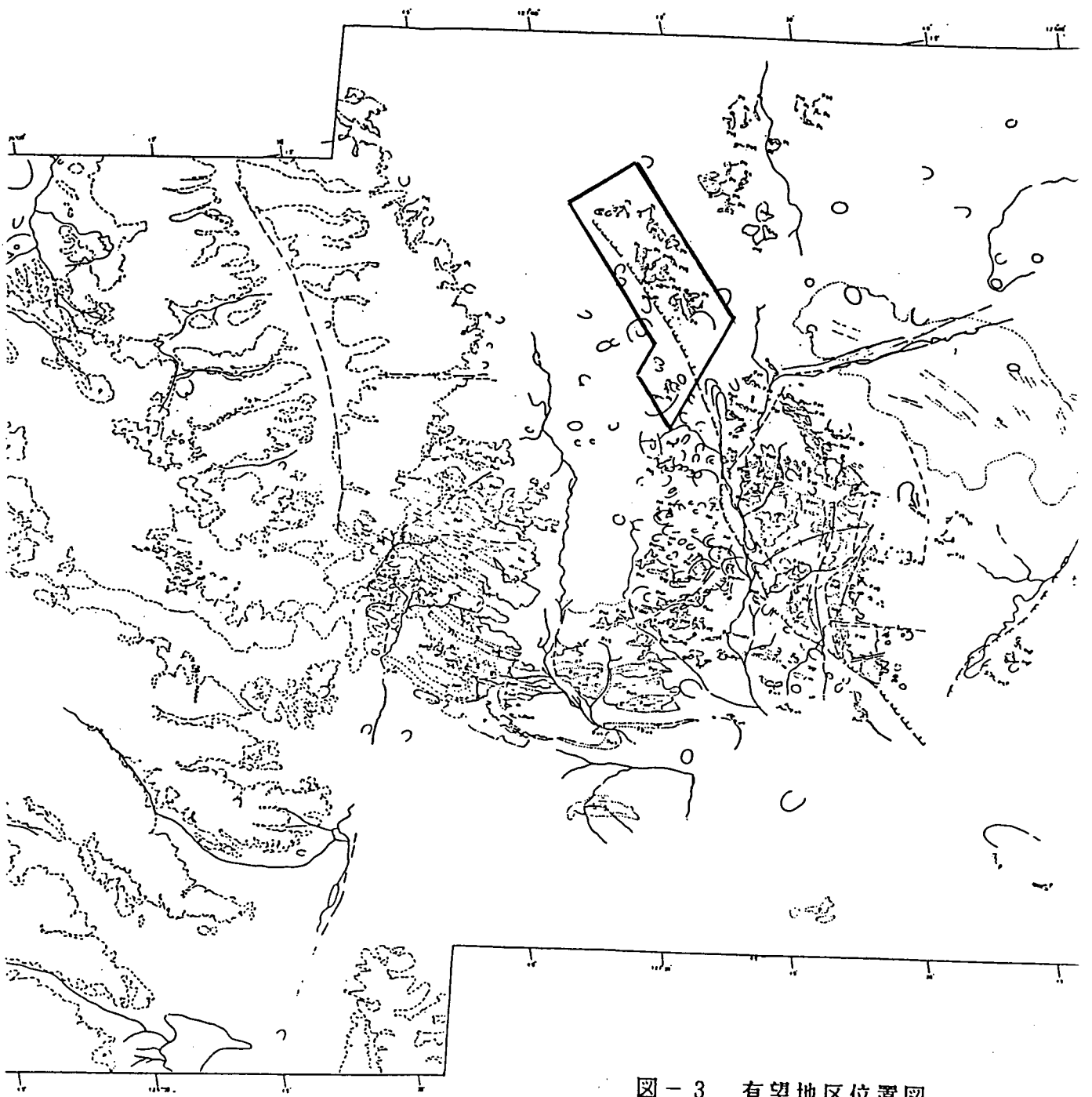


图-3 有望地区位置图

0 40km

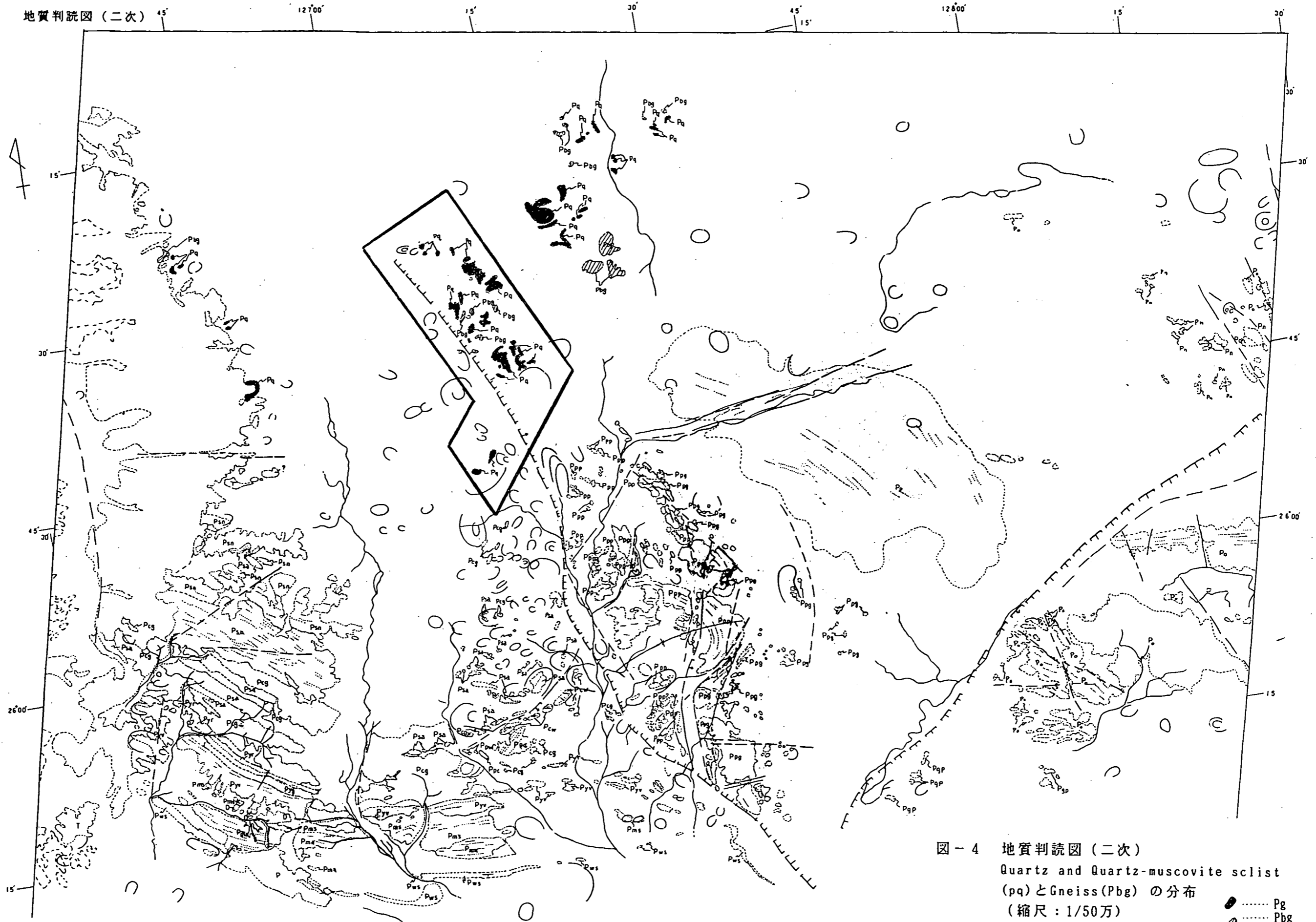


図-4 地質判読図(二次)  
 Quartz and Quartz-muscovite schist  
 (pq)とGneiss(Pbg)の分布  
 (縮尺: 1/50万)

ニアメント判読図(二次)

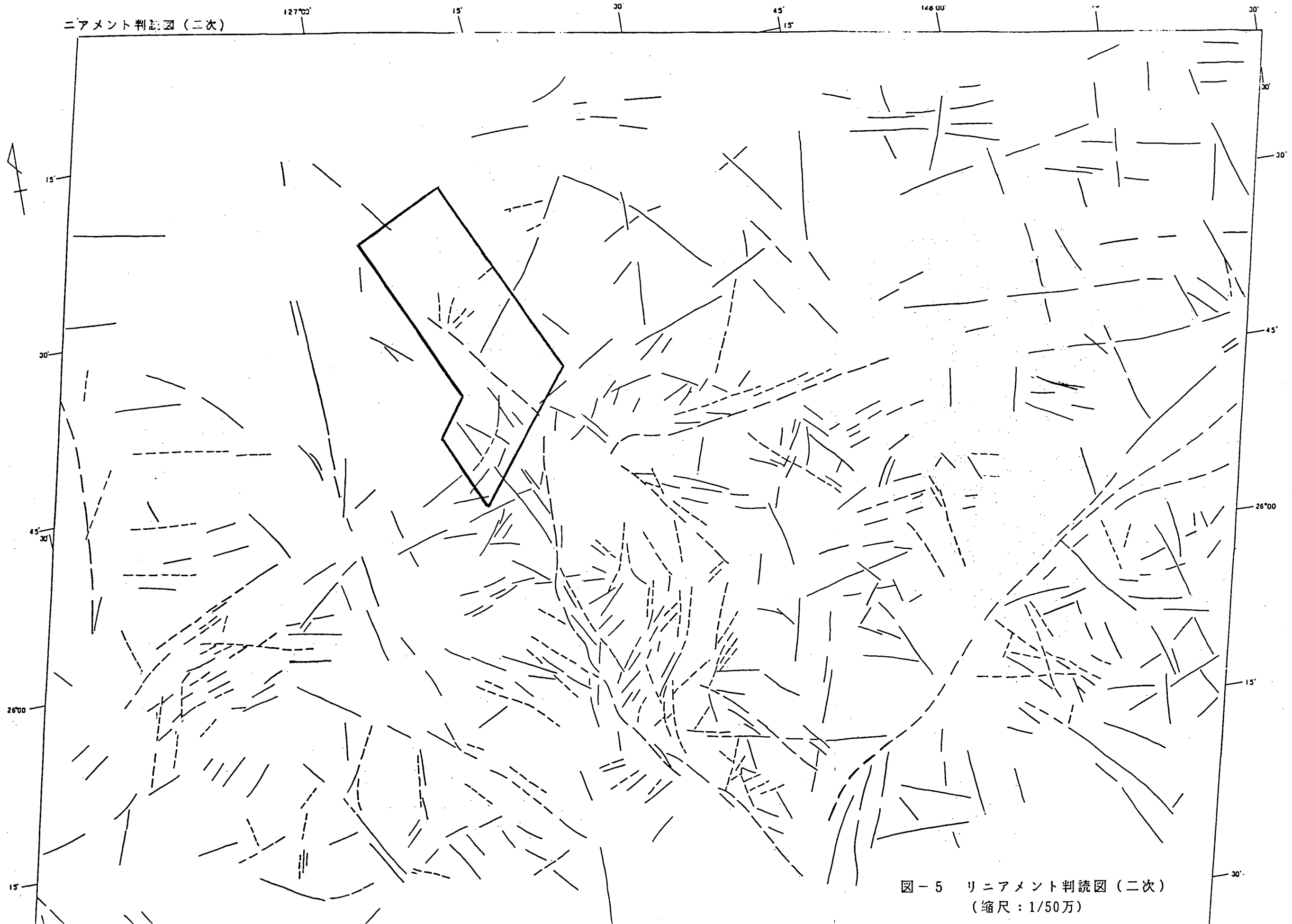


図-5 リニアメント判読図(二次)  
(縮尺: 1/50万)

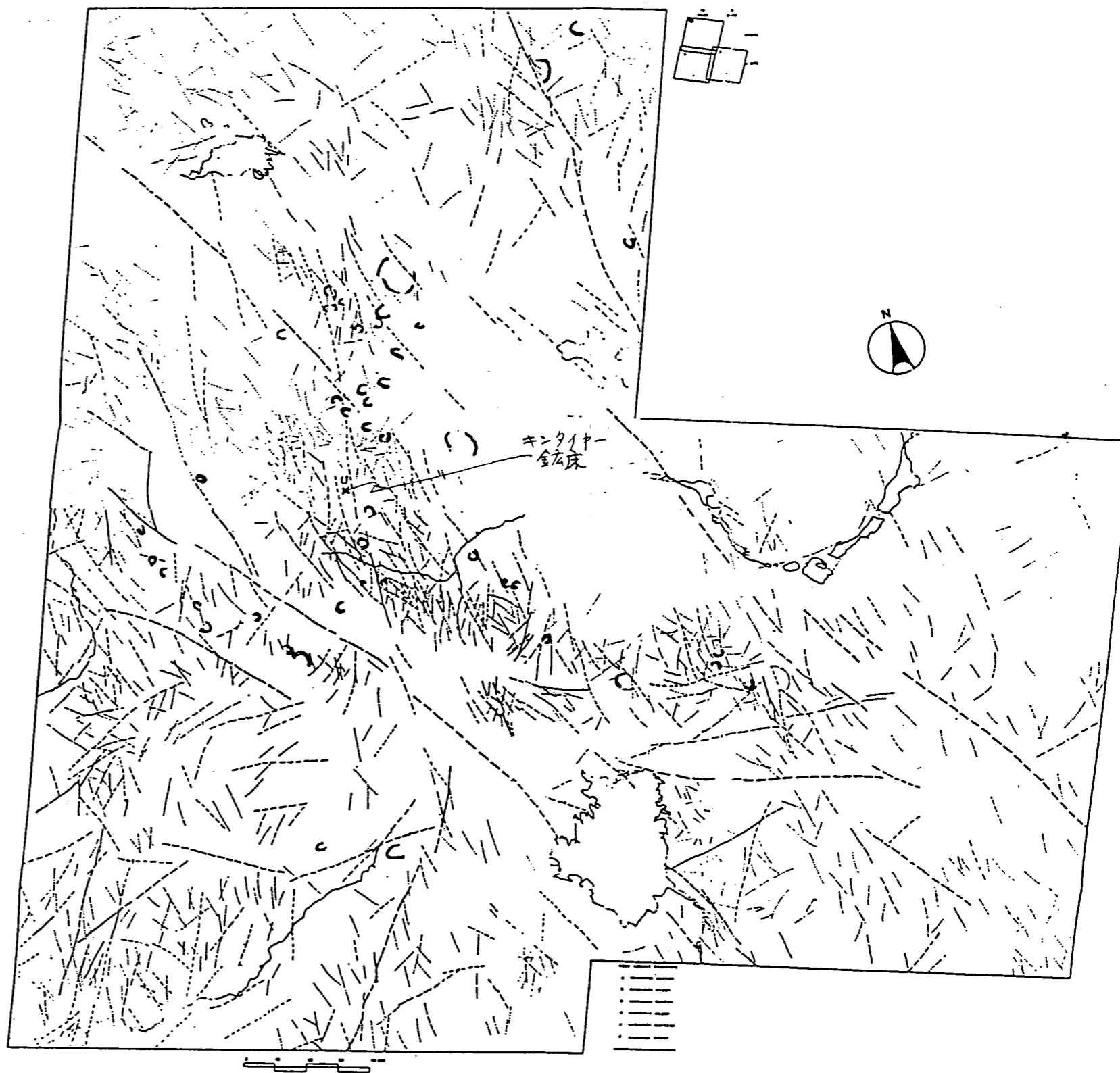


図-6a キンタイヤー鉱床周辺域に於ける  
環状構造の分布

0 40km





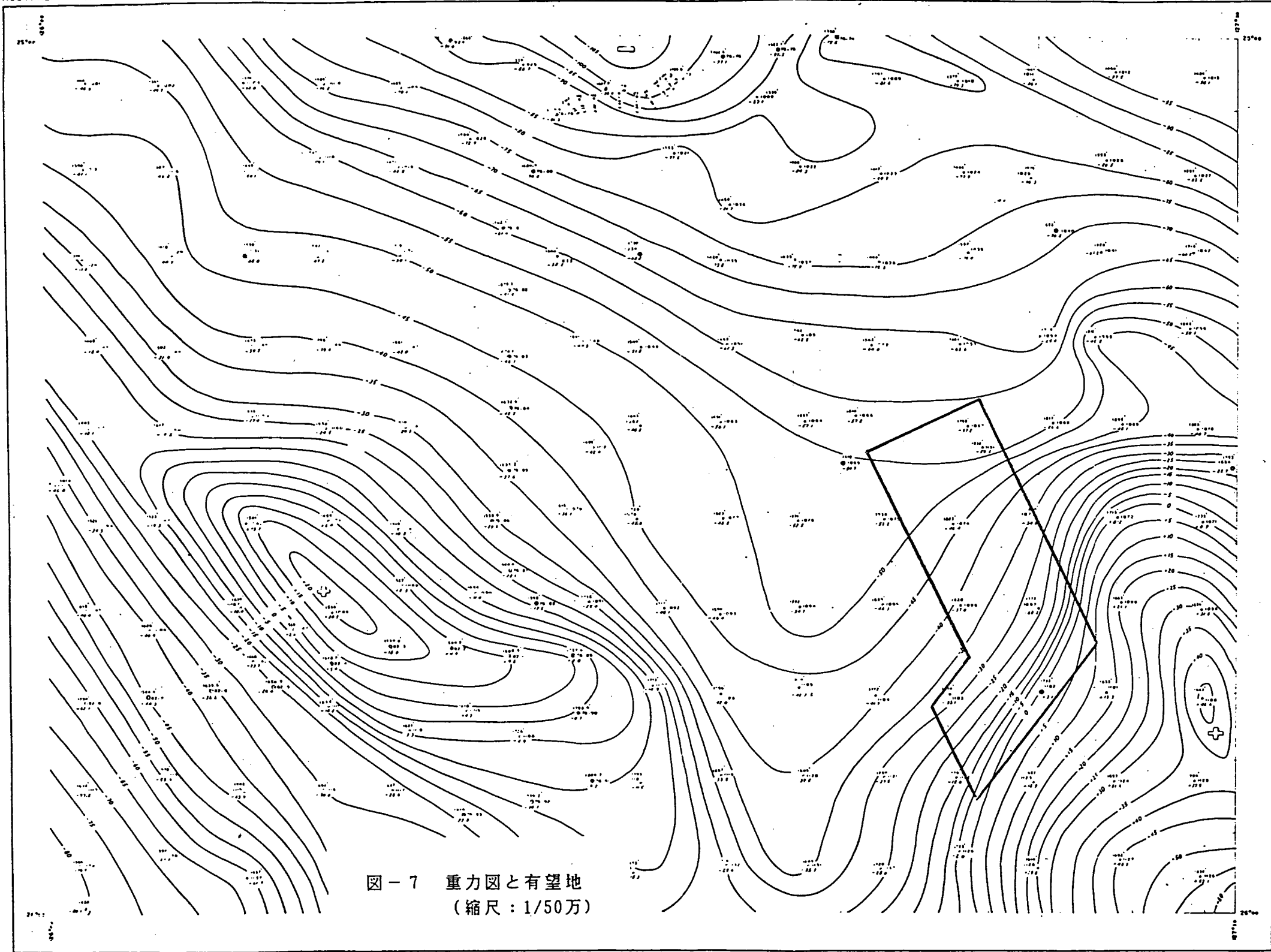


図-7 重力図と有望地  
(縮尺: 1/50万)

Project of Territorial Survey, Australia Series  
Compiled and based after Dept. of Geology, Australia Series  
Elevation datum: Mean sea level  
Air photographs: 1950, 1959  
Roadway: Planned (red)  
Ground: Reconnaissance

Bouguer anomalies are based on the estimated gravity values of B.M.R. geodetic stations WILUNA, W.A.  
For the calculation of Bouguer anomalies 2.2 g/cm<sup>3</sup> has been adopted as an average rock density.  
Geographical grid data from 1962 survey by B.M.R.

### PRELIMINARY BOUGUER ANOMALIES

Shaded area	▲	High potential contour point	△	B.M.R. gravity station	●
Proposed road	—	Road	—	Permanent marked station	○
Proposed station (B.M.R.)	○	Drainage	—	Gravelly station	○
Gravelly station, low	○	Proposed road	—	Bouguer anomaly (outcrop)	○
Permanent marked station	○	Main road	—	Elevation (feet)	—
Bouguer anomaly	—	Truck	—	Isopne	—
Isopne	—			High anomaly	+
Low anomaly	+			Low anomaly	+

Department of Natural Resources  
BUREAU OF MINERAL RESOURCES, GEOLOGY AND GEOPHYSICS



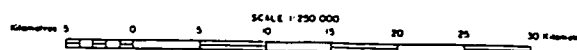
**DATA ACQUISITION**

Operator \_\_\_\_\_  
 Date of survey \_\_\_\_\_  
 Line spacing \_\_\_\_\_  
 Altitude \_\_\_\_\_  
 Sampling interval \_\_\_\_\_  
 Instrument \_\_\_\_\_

**DATA PROCESSING AND PRESENTATION**

Along line sampling \_\_\_\_\_  
 Magnetic gradient interval \_\_\_\_\_  
 Contour interval \_\_\_\_\_  
 Magnetic unit \_\_\_\_\_  
 Magnetic \_\_\_\_\_

**TOTAL MAGNETIC INTENSITY**



*NOTE: The information contained in this map has been obtained by the Department of Mineral Resources on part of the survey of the Commonwealth Government in 1955 in the exploration and development of mineral resources. It may not be published in any form, or used in a company prospectus or statement, without the approval in writing of the Director, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics.*

**REFERENCE TO AUSTRALIA 1:250 000 STANDARD MAP SERIES**

040000	0500	060000
040000	0500	060000
040000	0500	060000

BENTLEY, WA

图-8 磁気図と有望地  
(縮尺: 1/50万)

## 1.3 リモートセンシング解析のための現地調査

担当 小出 馨

### 1. はじめに

技術開発課は、昭和62年度に画像処理システムを、また、昭和63年度には岩石等の分光反射率を測定するスペクトララジオメーターを導入し、リモートセンシング解析のための環境整備を進めている。これによって従来の写真地質判読と共に地表物のスペクトル解析が可能となり、ランドサットTMデータ等のスペクトル情報量の高いデータを十分活用できるようになった。しかし、このスペクトル解析も各地表物（岩石、土壌、植生等）のスペクトル特性や地表状態を把握していなければ、十分な解析ができないことから、以前より増して現地による地表調査が重要になってきている。

本項では、導入したスペクトララジオメーターによる岩石の分光反射率測定調査を最初に実施した中国遼寧省の北票地区とオーストラリア西オーストラリア州のタナマイ地区、ルーダル地区の現地調査についてその概要を紹介する。尚、北票地区現地調査の詳細は、「中国東北地域『建昌共同調査』出張報告書 PNC SN7600 89-009』を参照されたい。また、タナマイ、ルーダル地区については、平成2年度に報告書を作成する予定である。

### 2. 現地調査の概要

#### 2-1 中国遼寧省北票地区現地調査

本調査は、1988年に発足した中国核工業総公司との「建昌共同調査」の一環として実施したものである。当初、干溝地区及び北票地区を41日間で調査する予定であったが、1989年6月4日の天安門事件により、北票地区の調査を終了した時点で帰国することになった。

##### 2-1-1 調査の目的

本調査は、中国東北地域におけるリモートセンシング解析のための基礎データの取得を目的に、調査対象地域に分布する岩石・土壌の分光反射率の測定、分布位置の確認及び地表状態（植生密度等）の観察を実施した。

##### 2-1-2 調査地区

日中ウラン共同調査地区（遼寧省朝陽市、北票市周辺地区：図-1参照）

##### 2-1-3 調査期間

1989年5月18日から6月14日までの28日間

（北票地区の調査は、5月29日から6月7日までの10日間）

#### 2-1-4 調査担当者

中部事業所・海外調査探鉱課	山崎 真一
中部事業所・技術開発課	則竹 和光
中部事業所・技術開発課	小出 馨

#### 2-1-5 調査項目

本調査においては、以下の項目を実施した。

- ・ウラン鉱化が認められるジュラ紀の火山岩類のランドサットTM画像上（以下、画像上とする）での分布位置の確認、スペクトロラジオメーターによる分光反射率の測定及び地表状況の確認。
- ・ウランソースと考えられる始生代～中生代の花崗岩類及び下部原生代の堆積岩類の画像上での分布位置の確認、分光反射率の測定及び地表状況の確認。
- ・ウラン鉱床、鉱化点の画像上での位置の確認。
- ・画像上特徴のある地形、色調部分の確認。

#### 2-1-6 使用データ及び測定機器

本調査においては以下のデータ及び測定機器を使用した。

- ・ランドサットTMデータ処理画像  
ランドサットTMフォールスカラー画像(1/10万、1/25万)アースサテライト社製  
パス・ロウ：121-31、32 撮影日：1984.10.5
- ・スペクトロラジオメーター：米国GER製IRIS Mk-IV

#### 2-1-7 調査結果

遼寧省の朝陽市及び北票市をベースとして、10日間の調査日程で41箇所の地点（その内、ウラン異常地点は5箇所）を調査し、前述した調査項目に沿って調査を実施した。

##### ① 岩石等の分光反射率測定

北票地区に分布する代表的な岩石等（表-1参照）を対象にスペクトロラジオメーターによる分光反射率測定を実施した。測定件数は59件であり、測定と共にサンプルを採取した。また、各調査地点をランドサットTM画像上で確認した。これによって北票地区に分布する代表的な岩石・土壌の反射スペクトル特性が把握でき、ランドサットTMデータ等との対比が可能となった。

表-1 分光反射率測定の対象となった岩石

火成岩	火山岩	堆積岩	変成岩	土 壤
花崗岩 斑禰岩 閃長岩 輝緑岩	流紋岩 石英安山岩 安山岩 凝灰岩	石灰岩 苦灰岩 砂 岩 泥 岩 珪質泥岩 凝灰質砂岩 凝灰質泥岩 花崗質礫岩	片麻岩	黄土 粘土 (変質帯) 畑土

今回の測定によって、本地区のウラン異常地点の岩石が以下に示す反射スペクトル特性を示すことが明らかになった。

- ・2.2 $\mu$ m付近に顕著な吸収が見られ、この吸収は2.16 $\mu$ mにショルダーが見られる。
- ・0.9 $\mu$ m付近に幅の広い吸収が見られる。

これらの特徴は、岩種が異なるにも関わらず、ウラン異常地点の岩石に共通した特徴であり、ウラン異常地点以外の岩石には見られない特徴である。(図-2 参照)

このように共通した反射スペクトル特性を示す岩石については、吸収の原因となる鉱物を明らかにするためにX線分析を実施した。その結果、各岩石共にカオリナイトが検出された。このX線分析の結果と過去における各鉱物の反射スペクトル測定結果<sup>1)</sup>(図-3)との対比から、2.2 $\mu$ m付近の吸収はカオリナイトによるものであることが明らかになった。また、0.9 $\mu$ m付近の吸収については、これも過去の文献<sup>2)</sup>(図-4)により、鉄鉱物によるものと推測されたが、化学分析の結果、鉄分は検出されたものの、特に含有率が高いといえる値ではなかった。

これらのウラン異常地点の岩石の反射スペクトル特性及びこれを基にしたランドサットTMデータの処理手法の検討については、平成2年度に「中国北票地区におけるランドサットTMデータ解析報告書」としてまとめる予定である。

② ランドサットMSS画像による写真地質判読結果の検証

昭和60年度に実施した中国東北部ランドサット解析(アジア航測に委託)の結果を現地で検証した。その結果、判読結果と現地の地質とが一致した割合は、5割強であった。

この結果については評価が別れるところであるが、判読に用いた画像が地上解像力80mのランドサットMSS画像であること、縮尺1/25万の単画像であること及び本地区が激しい地殻変動を受けている地域にあることを考慮すれば、写真地質判読を全面的に否定する程の結果ではないものとする。

本来、写真地質判読は1次解析の結果を基に現地調査を実施し、その結果を判読にフィードバックすることで初めて写真地質図として完結するものであり、今

回の判読結果も本調査の結果をフィードバックすることによって飛躍的に精度が向上するものと期待できる。

③ ウラン鉱床、鉱化点の画像上での位置の確認。

北票地区に点在するウラン鉱化点5箇所について調査し、その位置をランドサットTM画像上で確認できた。従って、今後、地質構造等とウラン鉱床との関係を正確に議論することが可能となった。

④ 画像上特徴のある地形、色調部分の確認

本地区のランドサットTM画像上に見られる特徴的な地形、例えば環状構造や岩脈状のリッジ地形について、その成因等を確認するために実際に現場へ行き、地質調査を実施した。その結果、岩脈状のリッジ地形については、地点毎に地質が異なるものの、断層によると思われる岩石の破碎や珪化、割れ目噴火を想像させる直線状の火山岩の分布、また今回調査したこれらの地形が全て北東方向に延びていること等から、北票盆地を規制している北東系の断裂構造に深く関連しているものと考えられる。

2-2 オーストラリア・西オーストラリア州タナマイ地区、ルーダル地区現地調査

本調査は、前年度実施したルーダル地区のランドサットTMデータ解析結果の検証を目的に1989年8月28日から9月27日までの31日間で西オーストラリア州のルーダル地区及びタナマイ地区の動燃鉱区内を対象に実施された。

2-2-1 調査の目的

昨年度実施したルーダル地区におけるランドサットTMデータ解析の結果の検証及び今後のオーストラリアにおけるリモートセンシング解析の為の基礎データ（地表状態や岩石・土壌の反射スペクトルデータ）の取得を目的とする。

2-2-2 調査期間

1989年8月28日から9月27日までの31日間

タナマイ地区：1989年9月4日～9月6日

ルーダル地区：1989年9月9日～9月20日

2-2-3 調査地区

オーストラリア・西オーストラリア州ルーダル地区及びタナマイ地区の動燃鉱区内（図-5参照）

2-2-4 調査担当者

PNCオーストラリア・パース事務所	古賀 孝徳
中部事業所・海外調査探鉱課	山田 康夫
中部事業所・技術開発課	小出 馨

## 2-2-5 調査項目

本調査においては、以下の項目を実施した。

- ・調査地域に分布する岩石・土壌の分光反射率の測定及びサンプルの採取  
岩石の風化表面における分光反射率の測定及び鉱物同定のためのサンプリング。
- ・地表状態（地形、植生等）の観察及び写真撮影  
地表構成要素の把握、分布形態、環境条件についての情報を収集する。
- ・ランドサットTM画像上における各岩石の分布位置の確認  
ランドサットTMデータと岩石・土壌の反射スペクトル特性との関係を検討するために実施する。
- ・ウラン異常地点のランドサット画像上における位置の確認  
地質構造あるいは地質とウラン鉱床との関係を正確に検討するために実施する。

## 2-2-6 使用データ及び測定機器

本調査においては以下のデータ及び測定機器を使用した。

- ・ランドサットTMデータ処理画像  
タナマイ地区：ランドサットTMフォールスカラー画像（1/25万）AMIRA社製  
パス・ロウ：106-73、74 撮影日：1987. 5. 30  
ルーダル地区：ランドサットTMフォールスカラー画像（1/25万）技術開発課作成  
ランドサットTM比演算画像（1/10万、1/25万）技術開発課作成  
パス・ロウ：110-75、76(モザイク)撮影日：1986. 10. 30  
パス・ロウ：109-76 撮影日：1987. 9. 8
- ・スペクトロラジオメーター：米国GER社製IRIS Mk-IV

## 2-2-7 調査結果

### (1) タナマイ地区における現地調査

#### ① 調査日程

- 9月3日：キャンプ到着
- 9月4日：EL4829 AREA2、EL4827鉱区内の調査
- 9月5日：EL4825 AREA1鉱区内の調査
- 9月6日：EL80/693、EL4833鉱区内の調査（調査後、キャンプアウト）

#### ② 調査地点数：18カ所

#### ③ サンプル採取数：13個

#### ④ 反射スペクトル測定数：13件

#### ⑤ 調査結果概要

本地区は、ラテライト質土壌が広く分布し、岩石表面も（水）酸化鉄により橙褐色～赤褐色を示している。従って各岩石とも外観上は同様な色を呈しているが、反射スペクトルを測定すると、各岩石毎に吸収の有無、吸収の大きさ、吸収波形等に差が認められる。

本地区の地形特徴としては、全般に起伏に乏しく、ブラウンズレンジドーム、

クマリードームの周縁部、上部原生代の砂岩層（Gardiner Sandstone）、下部原生代のアルコース、珪岩等が地形的に凸を呈しているのみである。

植生は、スピニフェクスが各調査地点に共通に見られ、ユーカリ属の低～高木およびアカシア属をはじめとする豆科の中低木類が地形や地表状態によって密度を変えて分布している。但し、日本のように樹冠が完全に地表を覆うという箇所は、クリーク沿いのユーカリ林を除いて殆ど存在せず、植生被覆率の多少はあれ地表面が見えており、地表に露出している岩石類を対象とする地質分野のリモートセンシング解析にとって非常に適した地域といえる。

オーストラリアのランドサット画像には野火による焼け跡のパターンがよく見られるが、これはかなり人為的な原因によるものが多いと思われる。（例えば、アボリジニー（先住民族）が狩猟のために原野に火をつける等）

クマリードームの北西に位置するウラン異常地点（UMMAGUMMA）の地質は、ドロマイト質チャートであり、表面には2次ウラン鉱物が見られる。また、試錐により石墨片岩が確認されており、地質的には有望と思われる。但し、この石墨片岩は、EM37の解析では抽出されておらず、今後の解析の為にも本地点の石墨片岩の物性試験が望まれる。

⑥ 測定した岩種と反射スペクトル特性（簡易チャートよりの解析）

- Gardiner Sandstone  
2.2  $\mu$  m 付近に吸収が見られる。
- Gardiner Basal Conglomerate（マトリックス部分を測定）  
2.2  $\mu$  m 付近に吸収（2.15  $\mu$  m 付近にショルダーを持つ）が見られる。
- Pargee Sandstone  
顕著な吸収は見られない。
- Killi Killi Beds Quartzite  
2.2  $\mu$  m 付近に吸収が見られる。
- Mt. Charles Beds Dolomitic Chert  
2.2  $\mu$  m 付近に小さな吸収が見られる。
- Ultramafic Rock  
顕著な吸収は見られない。
- Browns Range Dome Metamorphics Arkose  
2.2  $\mu$  m 付近に吸収が見られる。
- Browns Range Dome Metamorphics Muscovite Gneiss  
2.2  $\mu$  m 付近に小さな吸収が見られる。
- Archaean Feldspathic Sandstone  
2.2  $\mu$  m 付近に吸収（2.15  $\mu$  m 付近にショルダーを持つ）が見られる。
- Archaean Conglomerate（マトリック部分を測定）  
2.2  $\mu$  m 付近に小さな吸収（2.15  $\mu$  m 付近にショルダーを持つ）が見られる。



(2) ルーダル地区における現地調査

① 調査日程

- 9月8日：キャンプ到着
- 9月9日：カニング地区、E45/487, 496 鉱区内の調査
- 9月10日：カニング地区、E45/489 鉱区内の調査
- 9月11日：マウントシアーズレンジ、ブロードハーストレンジ周辺の調査
- 9月12日：スリーシスターズ地区の調査
- 9月13日：キンタイヤ鉱床南方のルーダル変成岩類分布域の調査
- 9月14日：カニング地区、E45/487 鉱区内の縞状鉄鉱層露頭周辺の調査
- 9月15日：Auld湖東部の調査
- 9月16日：ルーダル川周辺のルーダル変成岩類分布域の調査
- 9月17日：カニング地区、E45/489 鉱区内の調査
- 9月18日：カニング地区、E45/487, 496 鉱区内の調査
- 9月19日：岩石・土壌サンプルの反射スペクトル測定
- 9月20日：岩石・土壌サンプルの反射スペクトル測定
- 9月21日：キャンプアウト

② 調査地点数：62カ所

③ サンプル採取数：80個

④ 反射スペクトル測定数：72件

⑤ 調査結果概要

本地区は、タナマイ地区と同様にラテライト質土壌が広く分布し、植生の種類や密度に関しても大きな差は見られない。但し、ルーダル地区（特にカニング地区）は、縦列砂丘が発達しており、この点がタナマイ地区と大きく異なっている。

(a) 地形特徴

本地区の地形特徴は、各鉱区地区によって異なり、各々の特徴をまとめると以下のようなになる。

・カニング地区

地区全体に起伏が乏しく、中部原生界のカララ類層、古生界のパターソン累層がケスタやメサを形成しているのみである。また、北西方向の縦列砂丘が発達しており、道路造成の障害となっている。

・スリーシスターズ地区

本地区は比較的起伏に富み、キャンプ付近は中部原生界のチョーラン累層がメサやビュートを形成している。また、鉱区の東縁のルーダル変成岩類との不整合付近、鉱区北東部のクールプロ砂岩層（中部原生界）分布域には比較的谷が発達しており、複雑な地形を呈する。これらの谷の殆どは、差別侵食で形成された谷であり、砂質岩・泥質岩の互層（例えば、クールプロ砂岩層中の砂岩と頁岩、クールプロ砂岩層・頁岩および片岩から成るブロードハースト累層（中部原生界）・チョーラン累層（砂岩）の組合せ等）の泥質岩の部分に谷が

形成されている。

・マウントシアーズ地区

カニング地区と同様に本地区も砂丘域であり、北西方向の縦列砂丘が発達している。地形は平坦であり、唯一鉱区の北縁に分布するクールプロ砂岩層がテーブル状（地層傾斜は殆ど垂直）の台地を形成しているのみである。

(b) ランドサットTM比演算画像解析結果の検証

昨年度、キンタイヤ鉱床の胚胎母層であるルーダル変成岩類の抽出を目的にランドサットTMデータを用いて処理画像を作成した<sup>3)</sup>。今回の調査は、作成した処理画像の結果の検証を目的にしていることから、キンタイヤ鉱床を含む画像の範囲内に位置するスリーシスターズ地区、マウントシアーズ地区、およびCRA社の鉱区内であるルーダル川周辺、キンタイヤ鉱床域の南方に位置するルーダル変成岩類分布域において画像上の色調と地質との対応を調査した。尚、キンタイヤ鉱床は、所有するCRA社の都合により調査ができなかった。

調査の結果、キンタイヤ鉱床の胚胎母層である緑泥石片岩、炭酸塩岩（苦灰岩、石灰岩）と同様な岩相であるブロードハースト累層（但し、地質年代が異なり、キンタイヤ鉱床の胚胎母層であるルーダル変成岩類は始生代～原生代前期であり、ブロードハースト累層は原生代中期と言われている。）は、画像上の色調がキンタイヤ鉱床域と同様な明るい黄緑色を示している。（ブロードハースト累層の調査地点（ブロードハーストレンジ）で緑泥石片岩およびそれらに挟まれた苦灰岩の薄層を確認している。）

また、動燃鉱区内（スリーシスターズ地区）においても、画像上においてキンタイヤ鉱床域と同様な色調を示す箇所を調査した結果もその殆どがブロードハースト累層の露出地帯であった。尚、調査地点の一部においてはクールプロ砂岩層中の頁岩、チョーラン累層の砂岩の露頭地点も画像上鉱床域と同様な色調を示していることから、反射スペクトル特性およびX線回折解析の結果を基に原因を調査する予定である。

キンタイヤ鉱床の胚胎母層である緑泥石片岩および炭酸塩岩以外のルーダル変成岩類については、その代表的な岩相である石英長石黒雲母（白雲母）片麻岩を対象にCRA社の鉱区域と動燃の鉱区域の2箇所を調査した。その結果、両地点とも画像上の色調は暗緑色を示しており、調査した範囲内において地質と良く対応していた。尚、詳細な画像の評価は反射スペクトルデータおよびサンプルの鉱物同定の結果が得られた時点で実施する予定である。

⑥ 測定した岩種と反射スペクトル特性

測定の対象となった岩石

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| ・ Chlorite Schist (Broadhurst)                   | ・ Ironstone                      |
| ・ Arkose Sandstone (Karara)                      | ・ Quartz (Blow)                  |
| ・ Banded Quartz-Magnetite-Amphibole<br>Rock(Pim) | ・ Sheared Sandstone(broadhurst)  |
| ・ Calcrete                                       | ・ Biotite-Quartz-Feldspar-schist |
|  | ・ Sandstone(Bangemall Group)     |

- Granite Gneiss
- Biotite Gneiss
- Amphibolite (Pdb)
- Marble
- Meta Arkose
- Quartzite
- Dolerite
- Calc-silicate Rock
- Shale (Broadhurst)
- Sericite Shale (Coolbro)
- Muscovite Schist
- Sandstone (Paterson)
- Serpentinite
- Meta Gabbro
- Chalcedony
- Ultramafic Rock
- Sandstone (Coolbro)
- Dolomite
- Quartz Sandstone (Choorun)
- Biotite Schist

本地区に分布する代表的な岩石の反射スペクトル特性（簡易チャートによる解析）

- パターソン累層の砂岩
  - 2.25  $\mu$ m 付近に吸収（2.2  $\mu$ m 付近にショルダー有り）が見られる。
- バンゲマール層群の砂岩
  - 2.25  $\mu$ m 付近に吸収（2.2  $\mu$ m 付近にショルダー有り）が見られる。
- カララ累層のアルコース砂岩
  - 2.2  $\mu$ m 付近に吸収が見られる。
- チョーラン累層の砂岩
  - 2.25  $\mu$ m 付近に吸収（2.2  $\mu$ m 付近にショルダー有り）が見られる。
- ブロードハースト累層の頁岩
  - 2.25  $\mu$ m 付近に吸収が見られる。また、2.35  $\mu$ m 付近にも小さな吸収が見られる。
- クールプロ砂岩層の砂岩
  - 2.2  $\mu$ m 付近に吸収が見られる。
- ルーダル変成岩類
  - 縞状鉄鉱層：2.2  $\mu$ m 付近に小さな吸収が見られる。
  - 花崗片麻岩：2.2、2.3  $\mu$ m 付近に吸収が見られる。
  - 石灰岩：2.3  $\mu$ m 付近に吸収が見られる。
  - カルクシリケート岩：2.2  $\mu$ m 付近に吸収がみられる。また、2.3  $\mu$ m 付近に幅広い吸収が見られる。
  - 白雲母片岩：2.25  $\mu$ m 付近に小さな吸収が見られる。
  - 珪岩：顕著な吸収は見られない。
  - 蛇紋岩：2.35  $\mu$ m 付近に吸収が見られる。
  - 変斑礫岩：2.35  $\mu$ m 付近にかすかな吸収が見られる。

### 3. 今後の予定

本年度実施した現地調査は、岩石の反射スペクトル特性に着目し、そのデータ取得を目的とした現地調査としては、技術開発課にとって初めての試みであった。従って、スペクトロラジオメーターの現場適用も初めてであり、その耐久性についても未知な部分

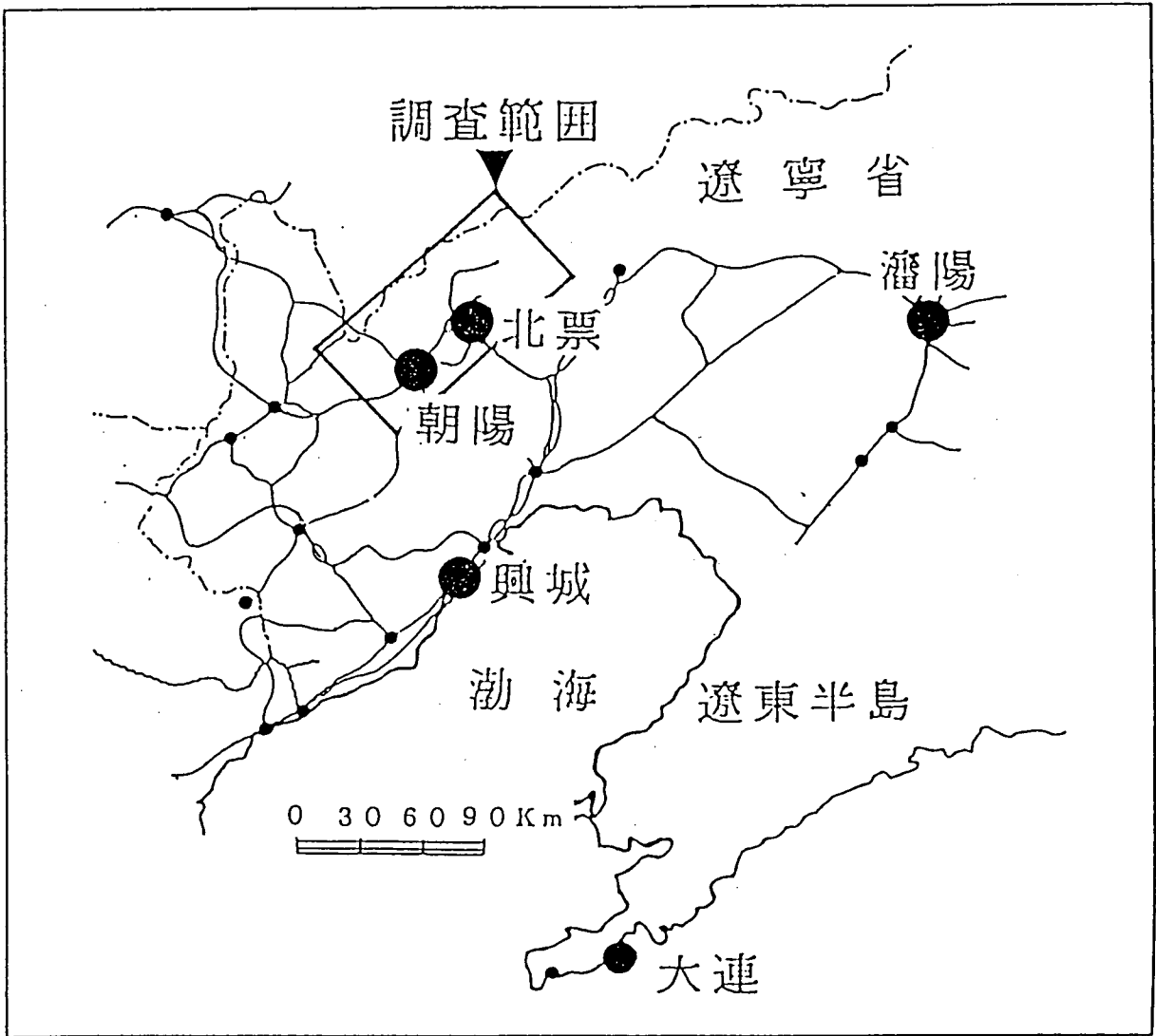
が多く、オーストラリアの調査では、調査期間中に故障してしまつた。また、測定時のサンプル採取等についても課題を残しており、今後更に検討する必要がある。

このように今後課題を残す形となつた今回の調査であつたが、北票地区及びルーダル地区に分布する岩石の反射スペクトルデータが取得できたことにより、今後のリモートセンシング解析、特にランドサットTMデータや将来のJERS-1のような多バンドデータ解析に大きく寄与するものと期待される。

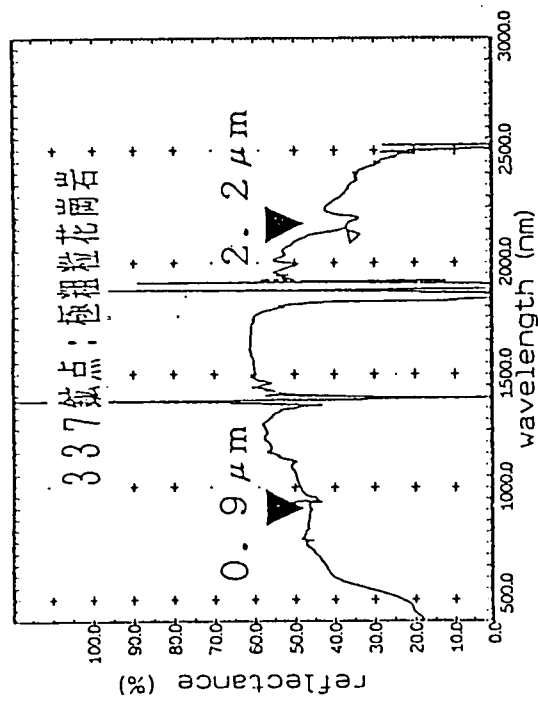
今後の現地調査計画については、平成3年度より技術開発課がテーマとして掲げている「オーストラリアにおける地球物理学的探査手法の確立」の準備として、カナダのアサバスカ地域と共に世界を代表するウラン鉱床地帯であるアリゲータリバー地域に分布する下部原生代の変成岩類の反射スペクトル特性を把握するために本地区にある動燃鉱区内及び既知ウラン鉱床地区での調査を予定している。

#### 参考文献

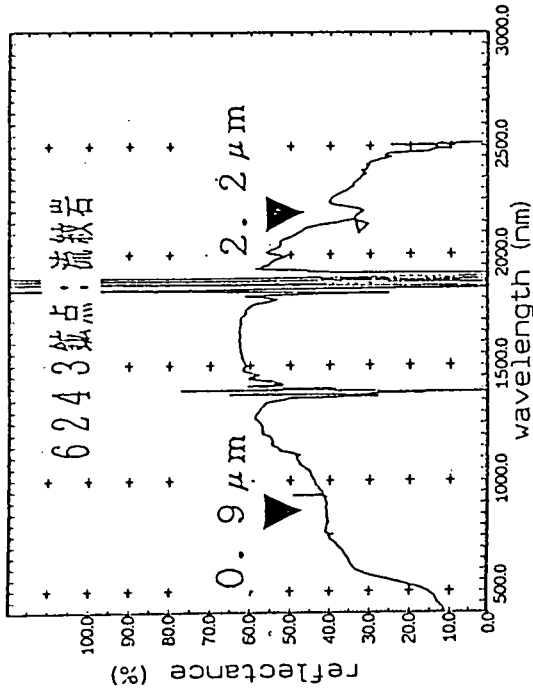
- 1) Hunt, Near-infrared (1.3-2.4  $\mu$ m) spectra of alteration minerals-Potential for use in remote sensing, GEOPHYSICS, VOL.44, No.12, 1979, P.1974-1986
- 2) Hunt, Ashley, Spectra of Altered Rocks in the Visible and Near Infrared, Economic Geology, Vol.74, 1979, P.1613-1629
- 3) 小出 馨、西豪州・ルーダル地区におけるランドサットTM画像の評価、動燃技報 No.70, 1989, P.89-95



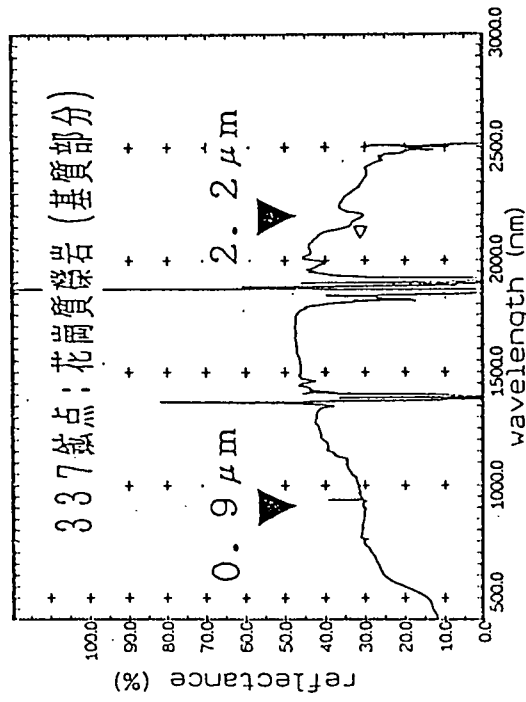
圖一 1 中国遼寧省北票地区調查位置图



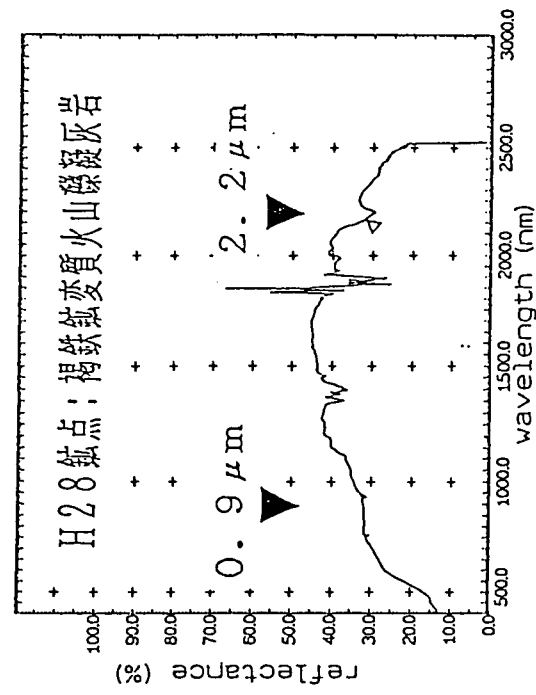
Data no. 137 Sample : very coarse granite



Data no. 109 Sample : rhyolite



Data no. 136 Sample : granitic conglomerate



Data no. 121 Sample : limonitic altered lapilli tuff

図—2 北票地区のウラン異常地点に分布する岩石の反射スペクトル特性

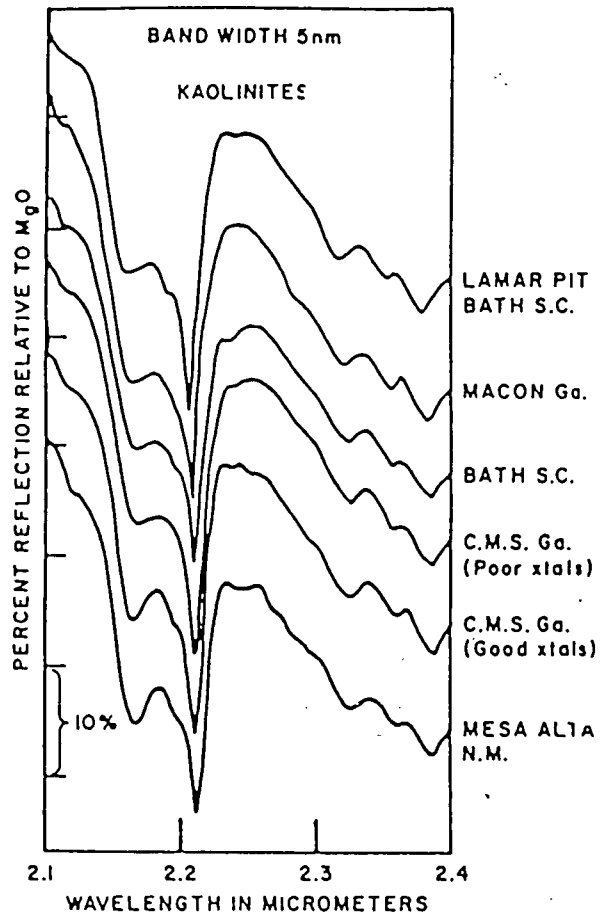


図-3 カオリナイトの反射スペクトル特性

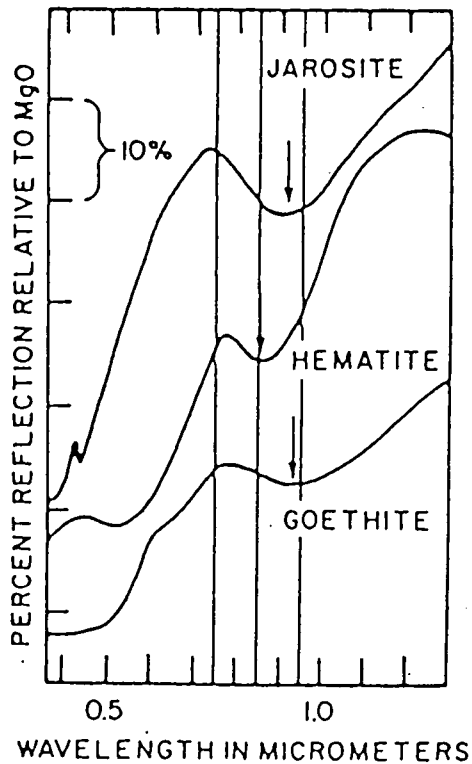


図-4 鉄鉱物の反射スペクトル特性

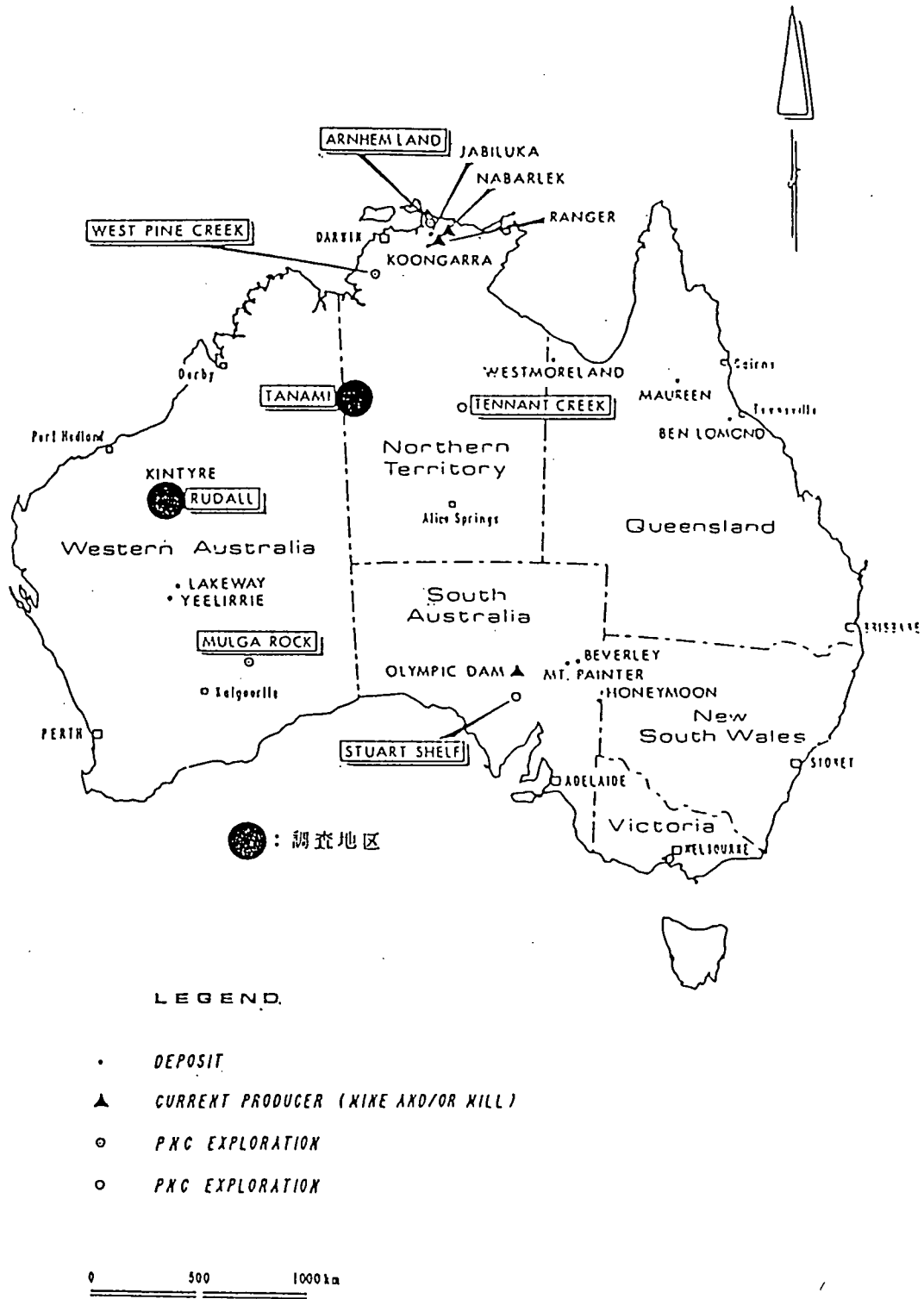


図-5 オーストラリア・ルーダル、タナマイ地区調査位置図



## 1.4 中国・北票地区のランドサットTMデータ解析

担当 小出 馨

### 1. はじめに

平成元年5月に実施した中国遼寧省北票地区の現地調査は、事業団の探査プロジェクトにおいて初めて岩石等の反射スペクトルに着目した調査であり、天安門事件により調査期間が短縮されたにも関わらず、本地区におけるリモートセンシング解析にとって有効な情報が得られた。

本項では、現地調査で得られた岩石等の反射スペクトルデータを基にして、本地区のウラン探査の対象となる岩石の抽出方法の検討結果についてその概要を報告する。尚、本解析の詳細は、平成2年度に「中国・北票地区ランドサットTMデータ解析」として報告書を作成する予定である。

### 2. 目的

本解析は、ランドサットTMデータを用いて建昌共同調査地区のウラン探査対象層（鉱床胚胎母層（岩））の抽出方法を選定するために実施した。

### 3. 解析内容

#### 3-1 解析対象地域

中華人民共和国・遼寧省 朝陽市及び北票市周辺域（図-1参照）

#### 3-2 岩石の反射スペクトルデータの処理・解析

現地調査で測定した各岩石の反射スペクトルデータを処理し、各岩石の反射分光特性曲線図を作成した。（図-2参照：北票地区の各岩石の反射分光特性については、「中国東北地域『建昌共同調査』出張報告書 PNC SN7600 89-009」を参照。）

各岩石の反射分光特性曲線図の解析によって、ウラン異常地点の岩石が他の岩石と異なる特性を示すことが明らかになった。これらの岩石の岩種及びウラン異常地点名を表-1に、また各岩石の反射分光特性を図-3に示す。

図-3が示すように、ウラン異常地点の岩石は、岩種が異なるにも関わらず、共通した特徴を有している。つまり、 $2.16\mu\text{m}$ にショルダーを持つ $2.2\mu\text{m}$ 付近の顕著な吸収及び $0.9\mu\text{m}$ 付近の幅の広い吸収がそれである。これらの吸収は、過去の測定結果<sup>1)</sup>と照合した結果、カオリナイトと鉄鉱物による吸収であることが判明し、その検証としてこれらの岩石のX線分析による鉱物同定を人形峠事業所の環境資源開発課に依頼した。また、鉄鉱物については、全鉄分析を技術開発課の分析グループに依頼した。

表-1 ウラン異常地点と岩石名

ウラン異常地点	位置	岩石名
6 2 4 3 鉱点	朝陽市南約25km	流紋岩
H 2 8 鉱点	朝陽市西北西約50km	褐鉄鉱変質火山礫凝灰岩
3 3 7 鉱点	北票市北約28km	花崗質礫岩 花崗岩

X線分析の結果、各岩石から共通してカオリナイトが検出された。また、鉄分についても各岩石から検出されたが、その含有率は特別高いものではなかった。

### 3-3 衛星センサーデータのシミュレーションプログラムの作成

岩石の反射スペクトルデータを基に本地区のウラン探査対象層（岩）の抽出に有効なランドサットTMデータの処理手法の検討を可能とするために、岩石の反射スペクトルデータからランドサットTMデータをシミュレーションするプログラムを画像処理システムを運用しているYHP9000モデル840上に作成した。本プログラム作成にあたっては、地質調査所の協力を得た。

ランドサットTMデータのシミュレーション方法としては、岩石の反射スペクトルデータ（分光反射率）から、センサーに入射する地上からの反射光の放射輝度を計算する方法が採られるが、本解析では下記に示す佐藤（1989）の方法（式-1<sup>2)</sup>）を用いた。

$$L(\theta, \lambda) = \frac{1}{\pi} \times E(\theta, \lambda) \times \rho(\lambda) \times \tau(\lambda) \times \tau'(\lambda) \times \cos(\theta) \quad (\text{式-1})$$

$L(\theta, \lambda)$  : 分光放射輝度 (mW/cm<sup>2</sup>/μm/st)

$E(\theta, \lambda)$  : 大気圏外の太陽の分光放射照度 (mW/cm<sup>2</sup>/μm)

$\rho(\lambda)$  : 地表物質の反射率

$\tau(\lambda)$  : 地表から衛星までの大気の透過率

$\tau'(\lambda)$  : 宇宙から地表までの大気の透過率

$\theta$  : 太陽の天頂角

尚、天空光やパストラジアンスの影響は無視している。

### 3-4 シミュレーションの計算条件及び結果の検討

現地調査で分光反射率を測定した岩石を全てシミュレーションの対象にしてしまうと、かなりの作業量となるため、シミュレーション結果と実際のランドサットTMデータとの比較や処理手法の検討等を考慮して、以下の岩石等をシミュレーションの対象とした。

表-2 シミュレーションの対象となる岩石等

ウラン異常地点の岩石	流紋岩 (6 2 4 3 鉱点)
その他の岩石	苦灰岩、石英安山岩、火山礫凝灰岩 粘土
その他	植生

表-2 に示す 6 種類の岩石及び植生の分光反射率からランドサット TM データの各バンドの波長域の放射輝度を計算した。その結果を図-4 に示す。尚、放射輝度の計算は、表-3 に示す条件で実施した。

表-3 放射輝度の計算条件

使用した大気モデル：1962年米国標準大気モデル	
視程	: 23km 以上
太陽天頂角	: 60°
数値積分	: 10nm ステップ

この計算結果の妥当性を検討するために、表-2 に示す対象物が分布する位置のランドサット TM データ (表-4) を抽出し、宇宙開発事業団が公表している放射輝度変換式 (式-2<sup>3)</sup>) を用いて、各対象物のランドサット TM データ値を放射輝度に変換した。その結果を図-5 に示す。

表-4 使用したランドサット TM データ

パス・ロウ	1 2 1 - 3 1
シーン名	CHAOYANG LIAONING CHINA
撮影日	1987.10.05
受信局	鳩山
フォーマット	B I L

$$\text{放射輝度} = \frac{DN}{255} (R_{\max} - R_{\min}) + R_{\min} \quad (\text{式-2})$$

但し DN : TM データのデジタル値  
 $R_{\max}, R_{\min}$  : センサーの最大および最小ラジアン

図-4 に示したシミュレーション結果と図-5 に示した実際のランドサット TM データから変換した結果を比較すると、両方ともバンド 4 に対応する波長域で最大値を示している。また、対象物の放射輝度の大小関係についても、植生がバンド 4 を除く波長域で最も低い値を示すことや苦灰岩及び流紋岩が他の対象物と比較して高い値を示すこと等、同様な結果が得られており、本解析で用いた方法は妥当なもの判断される。

### 3-5 ウラン探査対象層（岩）の抽出に有効な処理手法の検討

建昌共同調査地区におけるウラン探査対象層の抽出に有効な処理手法を検討するにあたり、成果画像に要求される項目を以下のように設定した。

- ① ウラン異常地点に分布する岩石を抽出できる。
- ② 苦灰岩を抽出できる。
- ③ 植生と岩石とを分離することができる。

①は、ウラン探査対象層（岩）の抽出を意味しているが、ここでは、青龍ウラン鉱床の胚胎母層であるジュラ系の海房溝累層（花崗質礫岩）だけではなく、前述したウラン異常地点の岩石に特有な反射分光特性を示す岩石を対象としている。

②は、朝陽市の南方約25kmの位置にある6243鉱点（ジュラ紀の流紋岩と原生代の苦灰岩との境界にウラン異常が認められている）をモデルとして、この鉱点と同様な地質環境を抽出するという観点で設定した。

③は、本解析の目的が地質解析であることから、解析の支障となる植生を岩石の情報から分離するために設定した。

#### (1) ウラン異常地点の岩石の抽出に有効な方法の検討

北票地区のウラン異常地点の岩石に見られる反射分光特性をまとめると以下のようになる。

- ① 2.2 $\mu$ m付近の顕著な吸収
- ② 0.9 $\mu$ m付近の幅広い吸収
- ③ 可視域の短波長側での急激な反射率の低下

①の特徴は粘土鉱物の特徴であり、また、②、③は鉄鉱物の特徴であることから、これらの特徴を示す岩石は、粘土鉱物及び鉄鉱物の抽出方法が応用できると考えられるため、過去に発表されているこれらの鉱物の抽出に有効とされるランドサットTMデータのバンドの組合せをシミュレーションデータを用いてその有効性を検討した。

本解析で用いたバンドの組み合わせは、以下の通りである。

- ・粘土鉱物の抽出方法：バンド5とバンド7の比、バンド5とバンド7の差
- ・鉄鉱物の抽出方法：バンド3とバンド1の比

図-6はバンド3とバンド1の比とバンド5とバンド7の比による特徴空間内における各岩石及び植生の分布を示した図である。この図からバンド3とバンド1との比が、流紋岩（ウラン異常地点の岩石）と他の岩石及び植生（芝）との分離に優れていることがわかる。従って、ウラン異常地点の岩石の抽出方法としてはバンド3とバンド1との比が有効である。

#### (2) 苦灰岩の抽出に有効な方法の検討

苦灰岩の場合も、粘土鉱物と同様にランドサットTMデータのバンド7の波長域で吸収を示すため、抽出方法も同様なものが応用できると考えられる。従って、バンド5とバンド7との比とバンド5とバンド7との差の2つの従来法を検討すると共に本解析におけるシミュレーション結果（図-4）から選定したバンド3とバンド1の差についてもその有効性を検討した。

図-7は、バンド3とバンド1の差とバンド5とバンド7との差からなる特徴空間内の各岩石及び植生の分布を示した図である。この図からわかるようにバンド3とバンド1との差の場合、苦灰岩が最も高い値を示しているが、粘土や流紋岩との分離はあまり良いとはいえない。一方、バンド5とバンド7との差の場合は、バンド3とバンド1との差の場合と同様に苦灰岩が最も高い値を示し、且つ粘土鉱物との分離も良い。バンド5とバンド7との比は、図-6に示すように植生が最も高い値を示し、苦灰岩の分離も他の方法に比べ良い結果が得られていない。

従って、苦灰岩の抽出にはバンド5とバンド7との差が有効である。

### (3) 岩石と植生との区分に有効な方法の検討

植生（緑色の葉を有する）は近赤外線において高い反射率を示すことから、岩石との区分の方法としてバンド4とバンド3との比が従来からよく用いられてきた。本解析では、このバンドの組合せと共にシミュレーション結果から選定されたバンド5とバンド4との比について有効性を検討した。

図-8はバンド4とバンド3との比とバンド5とバンド4との比からなる特徴空間内での各岩石及び植生の分布を示している。図-8から明らかなように、バンド4とバンド3との比は岩石と植生との分離が非常に良い。しかし、岩石に関しては分離が極めて困難な程、各岩石の値が近接している。一方、バンド5とバンド4との比は、植生と岩石との分離について、バンド4とバンド3との比にやや劣るものの、岩石間の特に苦灰岩、流紋岩とその他の岩石との分離が良い。従って、岩石と植生との分離のみに着目した場合は、バンド4とバンド3との比が有効であるが、岩石間の分離が困難ということからバンド5とバンド4との比を本解析では有効とした。

### (4) 検討結果

検討結果をまとめると以下のようなになる。

- ・ウラン異常地点の岩石の抽出には、バンド3とバンド1との比が有効である。
- ・苦灰岩の抽出には、バンド5とバンド7との差が有効である。
- ・岩石と植生の区分には、バンド5とバンド4との比が有効である。

## 3-6 ランドサットTM画像の作成及び評価

本解析では対象地区を朝陽市の南方約25kmに位置する6243鉱点周辺約15km四方の地区としてデータ（512×480画素）を切り出し、処理を実施した。

使用したランドサットTMデータは、表-2に示す通りであり、これを式-2を用いてオリジナルデータを放射輝度値に変換し、先の検討で選定された各バンド間の演算を実施した。そして、得られた各画像データに光の三原色を割り当てカラー合成した。各画像データへの色の割り当ては、以下の通りである。

- ・バンド3とバンド1との比（赤）
- ・バンド5とバンド7との差（緑）
- ・バンド5とバンド4との比（青）

この色の割り当て方の場合、シミュレーション結果からウラン異常地点の岩石は赤色を帯びた白色になり、また、苦灰岩は青緑色を示すものと予想された。

実際に本処理によるランドサットTM画像(図-9)を検討した結果、ウラン異常地点の岩石である流紋岩分布域は画像上、明薄褐色を示し、また、苦灰岩分布域は薄藍色を示しており、シミュレーション結果からの予想と一致した。また、植生は画像上、暗緑色を示し、岩石等と異なった色調を示すことから、植生と岩石との区分については良好な結果が得られた。

#### 4. 解析結果のまとめ

本解析によって以下の知見や結果が得られた。

- ウラン異常地点の岩石は岩種が異なるにも関わらず、同一の反射分光特性を示す。これは岩石に含まれているカオリナイトと鉄鉱物によるものと考えられる。
- 衛星データの処理手法の検討において、衛星データのシミュレーションデータによる検討方法が有効であることが確認された。
- 北票地区における探査対象層(岩)の抽出にはランドサットTMデータのバンド3とバンド1との比画像、バンド5とバンド7との差画像及びバンド5とバンド4との比画像が有効である。

#### 5. 今後の予定

今後、以下の項目について引き続き検討を実施していく予定である。

##### (1) シミュレーション方法の改良

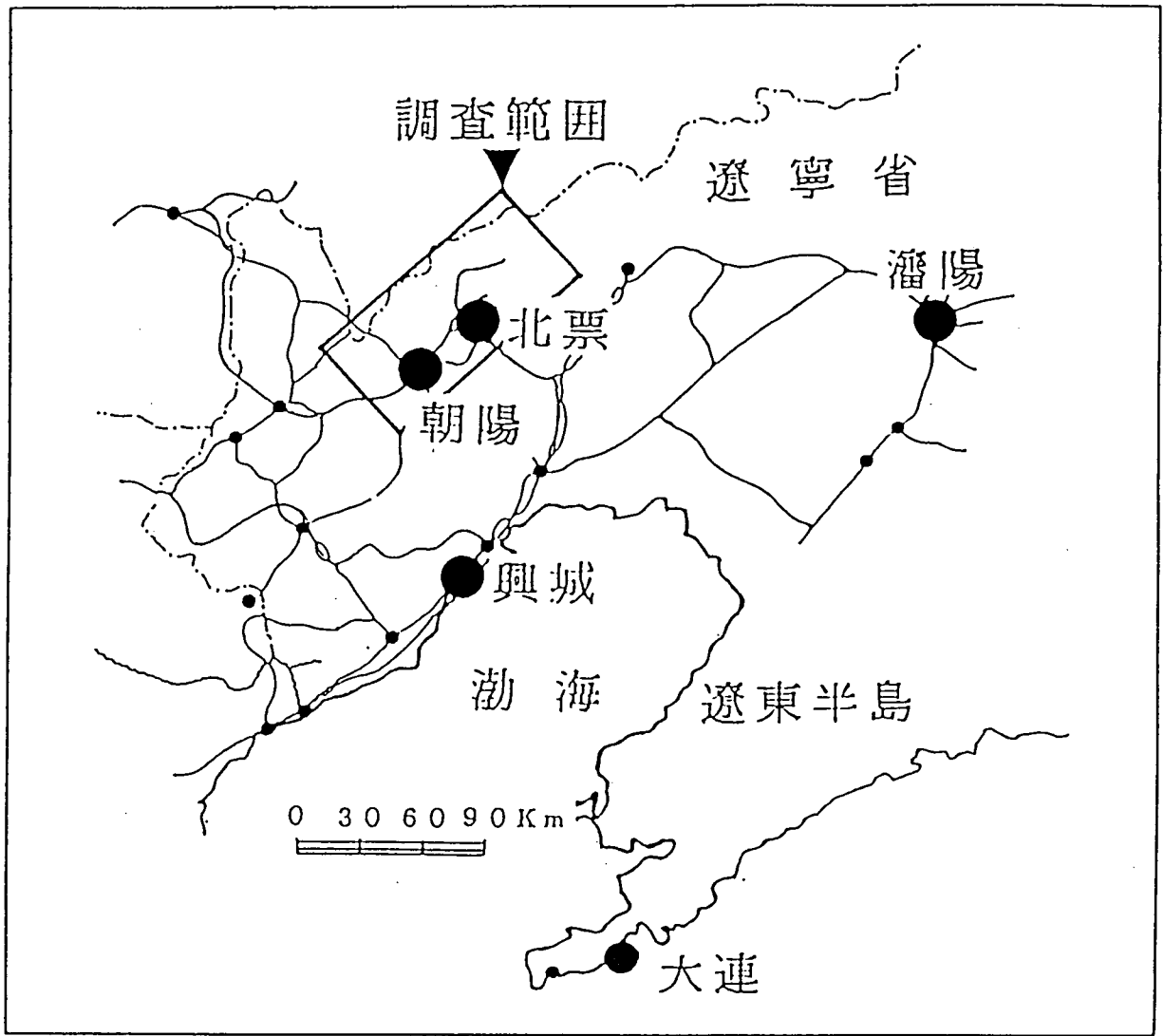
- 実データとシミュレーション結果とのバンド3の波長域における放射輝度値の違いについての原因の究明。
- 実際の地表状態に近い条件でのシミュレーション。

##### (2) 現場への適用

本処理画像の有効性及びその適用について日中共同プロジェクトの担当者と検討する。

#### 参考文献

- 1) Hunt, Near-infrared (1.3-2.4  $\mu$ m) spectra of alteration minerals-Potential for use in remote sensing, GEOPHYSICS, VOL.44, No.12, 1979, P.1974-1986
- 2) 佐藤 功、「JERS-1(OPIS)の計算機シミュレーション・データによる岩石区分のためのバンド組合せ」、第9回学術講演会論文集、日本リモートセンシング学会、1989
- 3) 宇宙開発事業団、「地球観測データ利用ハンドブックーランドサット編・改訂版」、宇宙開発事業団 地球観測センター、1986、P. 6-1



図一 1 解析対象地域

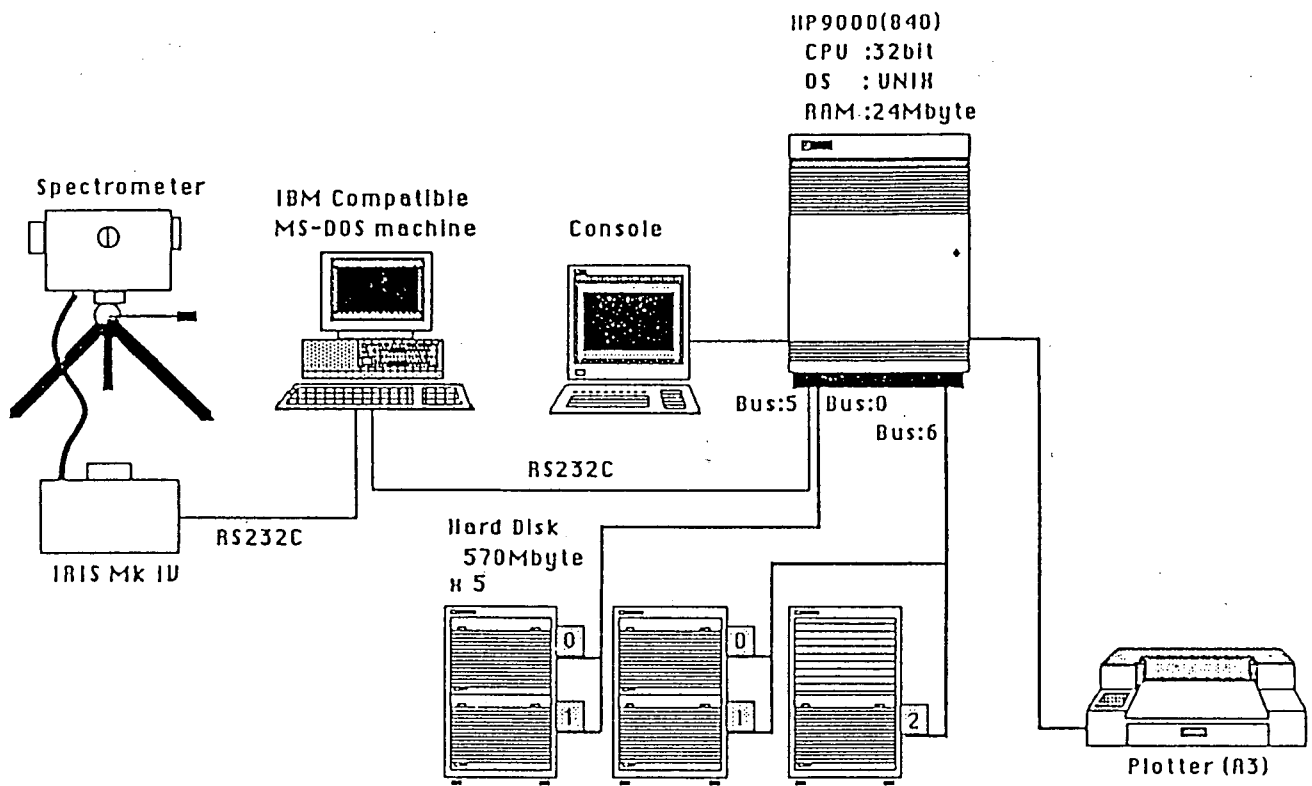
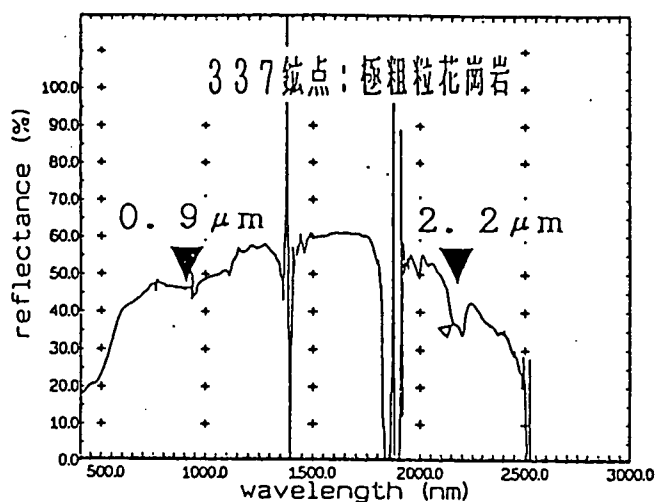
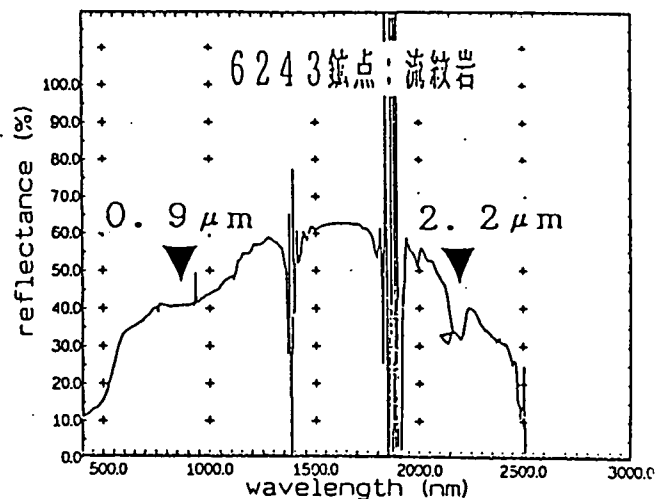


図-2 反射スペクトルデータ処理システム

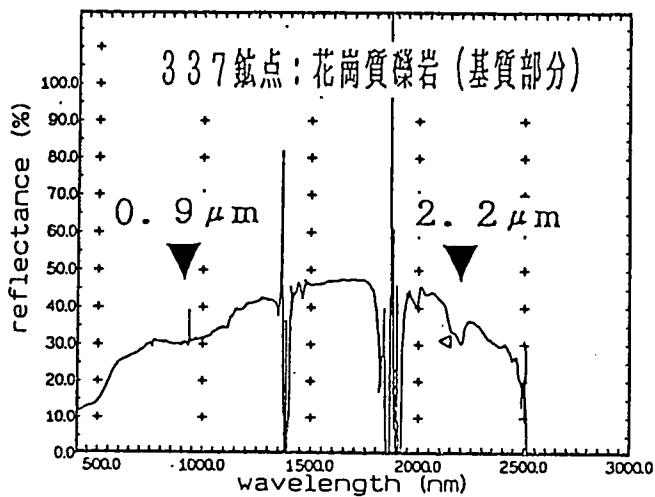




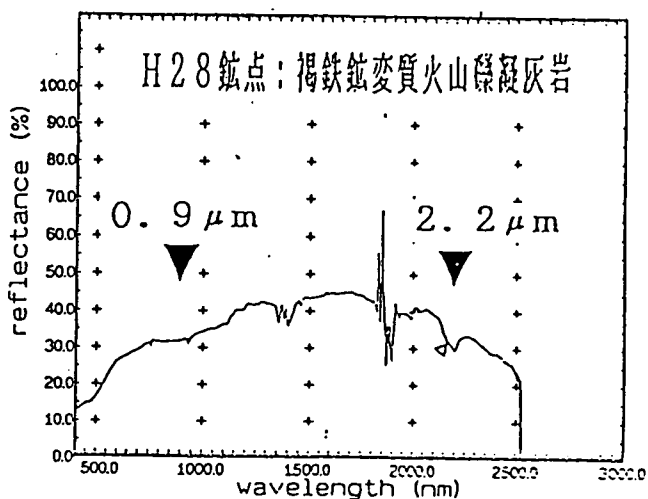
Data no. 137 Sample : very coarse granite



Data no. 109 Sample : rhyolite



Data no. 136 Sample : granitic conglomerate



Data no. 121 Sample : limonitic altered lapilli tuff

図-3 ウラン異常地点の岩石の反射分光特性

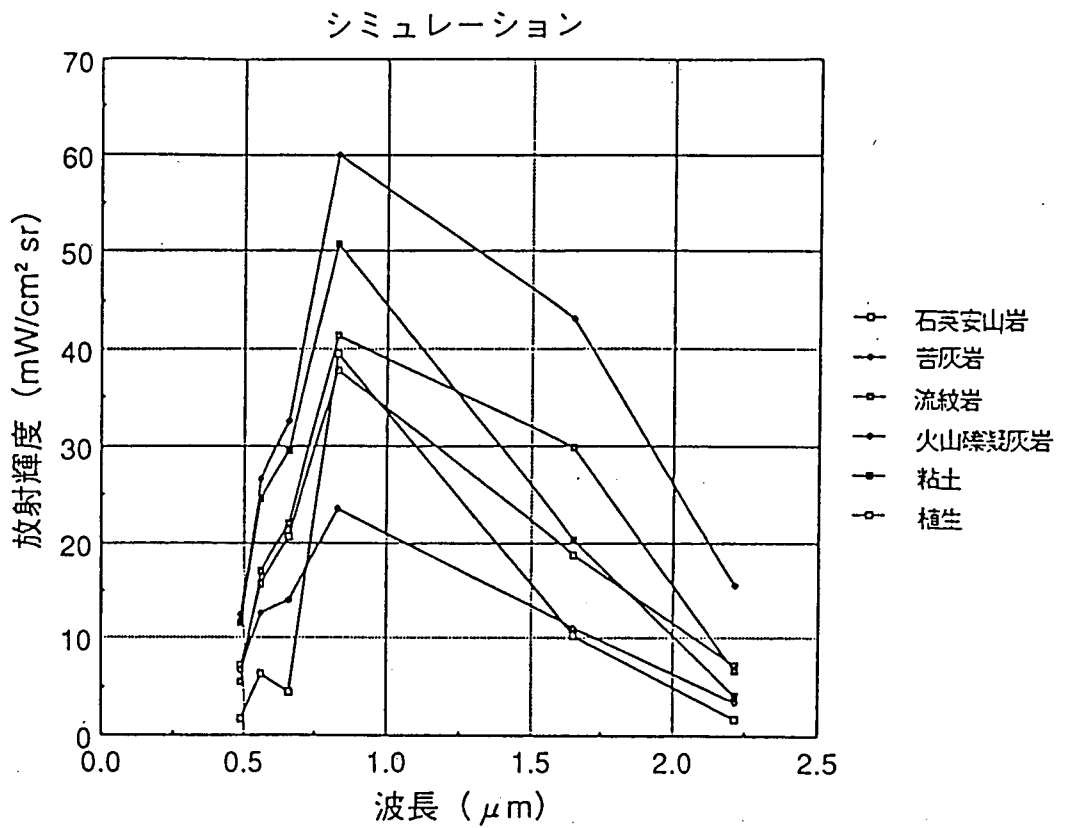


図-4 各対象物の放射輝度値 (シミュレーション)

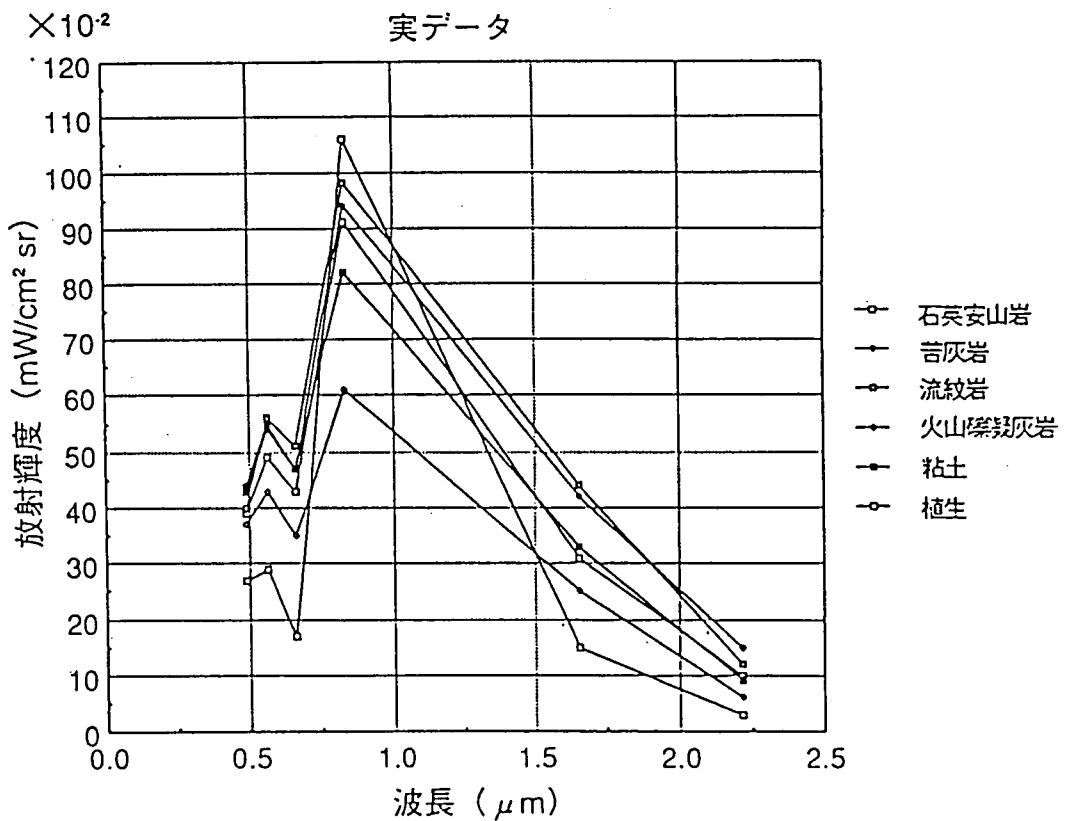
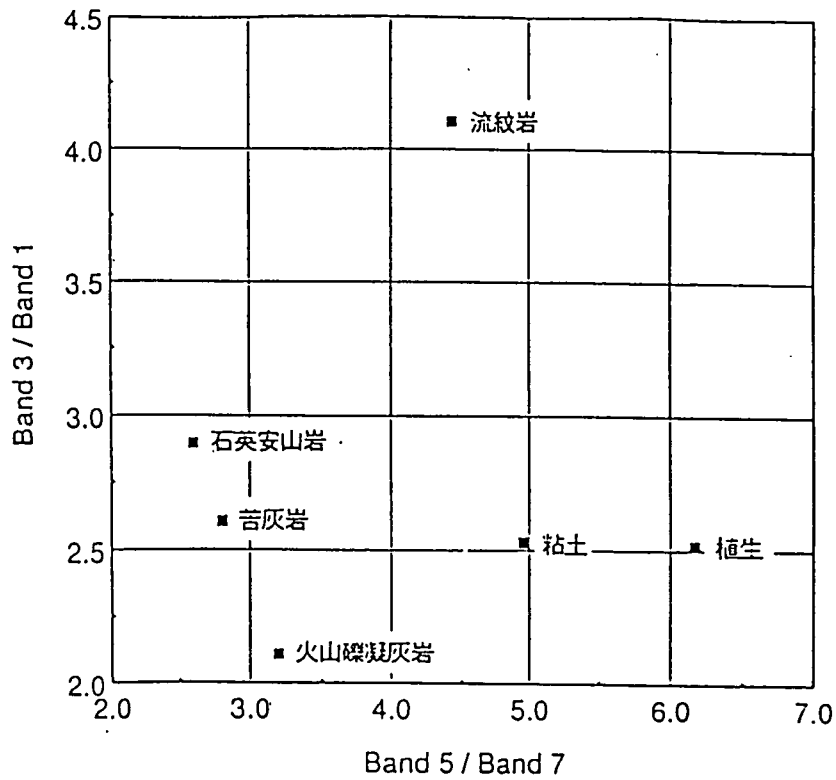
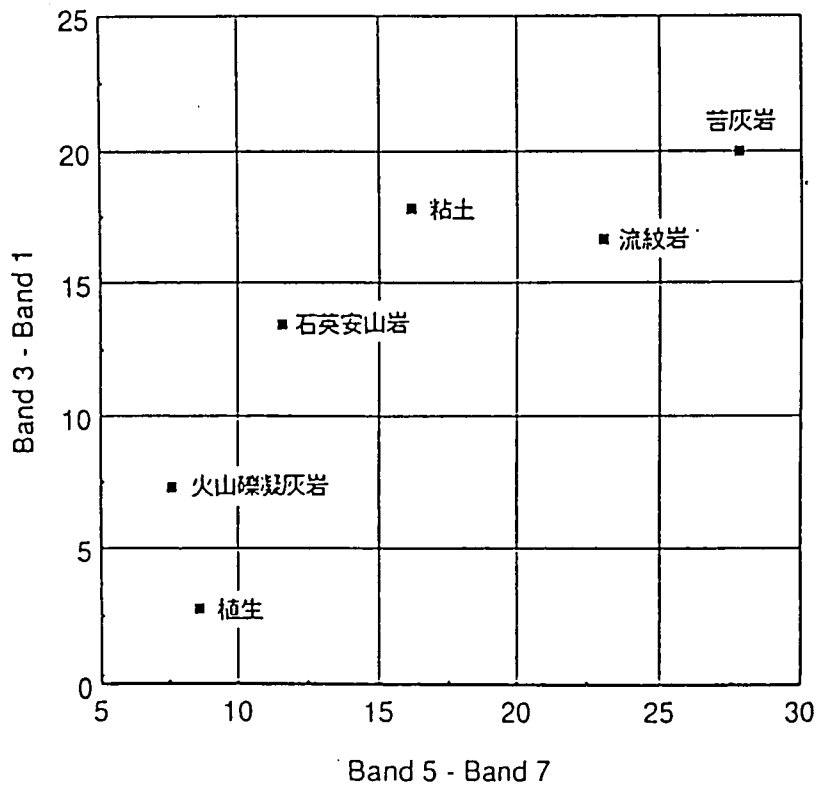


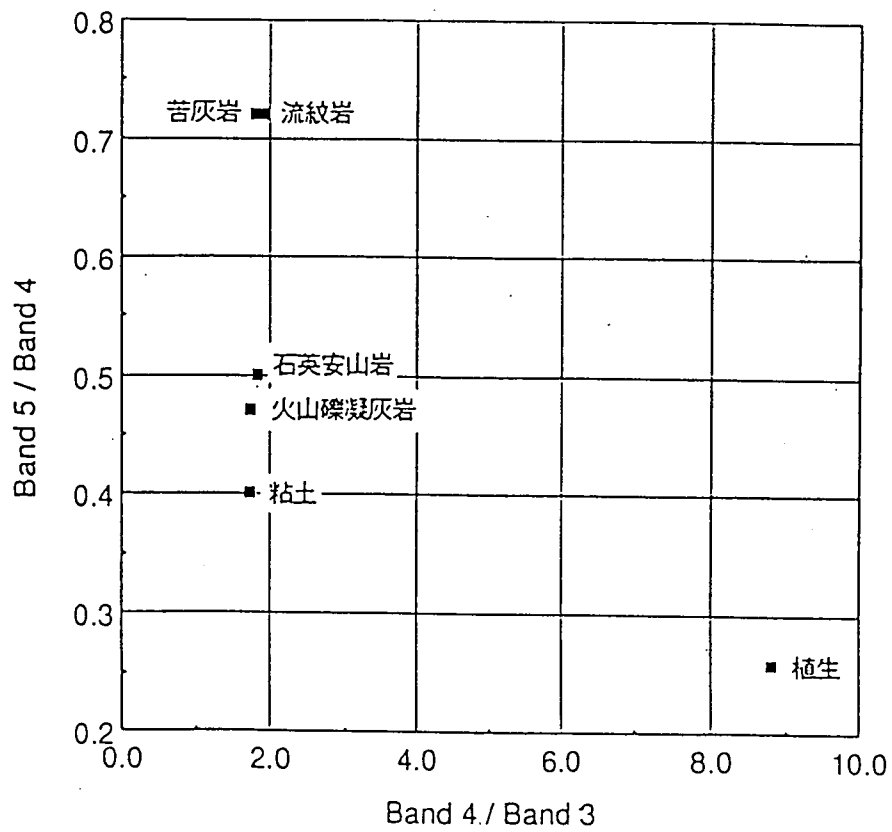
図-5 各対象物の放射輝度値 (ランドサットTMデータ)



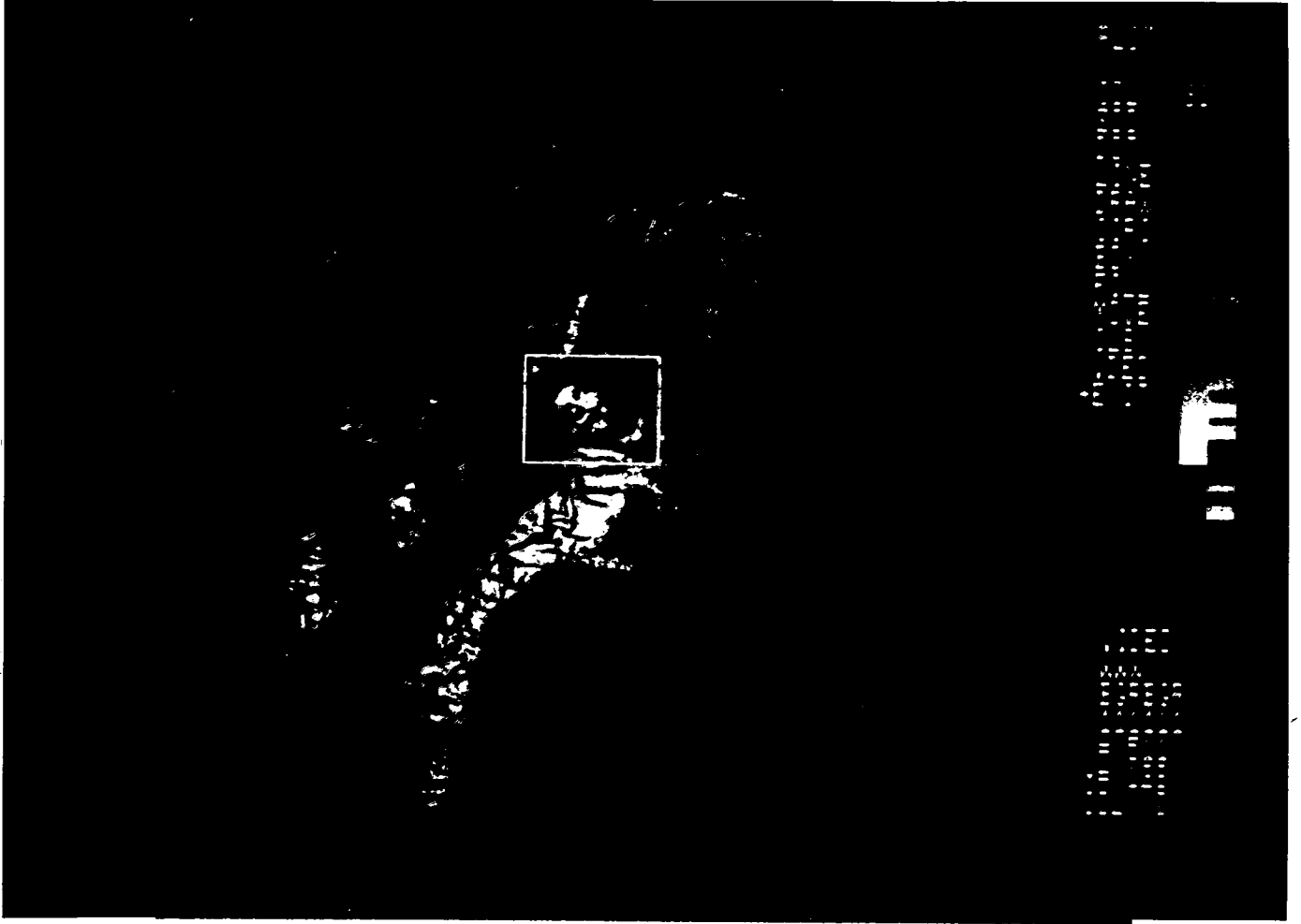
図一 6 特徴空間内における各岩石等の分布  
(Band3/Band1, Band5/Band7)



図一 7 特徴空間内における各岩石等の分布  
(Band3-Band1, Band5-Band7)



図一 8 特徴空間内における各岩石等の分布  
(Band4/Band3, Band5/Band4)



図ー9 ランドサットTMデータ処理画像

### 3-1-2 使用データ

本作業では、表-1に示すランドサットTMデータを使用した。

表-1 使用データの仕様

シーン番号	パス・ロウ	撮影年月日	受信局	フォーマット
1	105 - 78	1988.08.13	アリスプリングス	AMIRA B I L
2	106 - 78	1988.09.21	アリスプリングス	AMIRA B I L
3	107 - 78	1988.09.12	アリスプリングス	AMIRA B I L

### 3-1-3 画像処理内容

本作業では、マズグレーブ地区における中部原生界のグラニュライト及びグラニュライトと花崗片麻岩のミグマタイトの露頭分布の把握を目的に処理方法を検討した。上記岩石は、西オーストラリア州のキンタイヤーウラン鉱床の胚胎母層であるルーダル変成複合岩体相当層とされており、ウラン探査上、その分布の把握は重要である。

処理方法の検討に際しては、パース事務所での露頭分布図作成を考慮し、ルーダル地区での岩相区分に有効とされたバンド1、バンド5及びバンド6の組合せによるフォールスカラー画像を作成することにした。これは、地形情報が含まれている画像の方が判読し易いためである。

画像作成にあたり、ランドサットデータが持つ幾何学的歪みを補正するために、1/25万の地質図を用い、変換係数算出用のGCP (Ground Control Point) を抽出した。幾何学補正の結果、地図座標との誤差は画像3シーンの平均ピクセル方向(横方向)が3.36画素、ライン方向(縦方向)が3.51画素である。これは、1/25万の地質図上で0.4mm程度の誤差であり、座標抽出のためのデジタイズ入力時の誤差を考慮すれば、妥当な数値と思われる。また、画像3シーンの色調を合わせるために、隣接するシーンの重複部分のヒストグラムを計算し、位置的に中間に位置するパス・ロウ116-78の画像を基準として、その両隣の画像のデジタル値を変換した。

図-3、4及び5が本作業によって作成されたランドサットTMデータ画像である。探査対象層は、暗黄緑色を示しており、本地区において広く分布する超塩基性岩(黒褐色)、斑状酸性火山岩(暗緑褐色)、グラノファイヤー(暗緑色)等と区分が可能である。

### 3-2 カナダ・アサバスカ東部域スポットHRVナチュラルカラーモザイク画像作成

本件は、中部事業所・鉱床解析室の依頼で作成したもので、現在、鉱床解析室によって評価作業が行われているミッドウエスト鉱床周辺域のスポットHRVデータ画像である。

スポット衛星は、フランスが打ち上げた地球観測衛星であり、地上解像力がパンクロモードで10m、マルチスペクトルモードで20mの高解像力を誇り、更に地形図の作

成を可能とする実体視機能を合わせて有している。

### 3-2-1 解析対象地区

本作業の対象地区は、ミッドウエスト鉱床を中心とする約75km四方の範囲で、地区の東部にウォラストーンレイクが、また西部にはウォーターベリーレイクが位置する。この範囲にラビットレイク、ドーンレイク、ミッドウエスト、シガーレイク等の主要なウラン鉱床が分布している。(図-6参照)

### 3-2-2 使用データ

本作業では、表-2に示すスポットHRVマルチスペクトルモードデータ2シーンを使用し、これらをモザイクして必要な範囲の画像を作成した。

表-2 使用データの仕様

シーン番号	参照グリッド	撮影年月日	補正レベル	フォーマット
1	549 - 231	1987.09.15	1 B	B I L
2	550 - 231	1987.08.30	1 B	B I L

### 3-2-3 画像処理内容

本作業は、ミッドウエスト鉱床周辺域のスポットHRVナチュラルカラーモザイク画像を作成するために以下の手順で画像処理を実施した。

#### ① フォーマット変換

スポットデータを入力・処理するために、スポットイメージ社のB I Lフォーマットを画像処理システムの画像データフォーマットに変換した。

#### ② モザイクのための幾何学的変換(画像対画像)

2つの画像をモザイクするためには、接合部分における位置が両画像で一致していなければならない。そのために本処理では東側の画像を基準として、西側の画像に幾何学的補正を実施し、重複部分における同一箇所のズレを補正した。

#### ③ モザイクのための両画像の色調統一

モザイクする際には、重複部分の色調が一致していないと、接合線が目立ってしまう。そこで、重複部分のデータのヒストグラムを求めて、幾何学的変換と同様に東側の画像を基準として、そのヒストグラムに西側の画像のヒストグラムを合わせる形で色調を統一した。

#### ④ モザイク処理

両面像を図-7に示す位置においてモザイク処理を実施した。尚、接合点を決定する範囲を100画素とし、接合線を目立たないようにするための平滑化処理の幅を20画素に設定した。

#### ⑤ モザイク済み画像に対するヒストグラム変換(濃度変換)

スポットデータは、8 b i tデータであることから、データ値は0から255の

範囲の値を取り得る。しかし、オリジナルデータのヒストグラムを見るとデータ全体の約95%以上が20から25の範囲の値を示しており、8bitデータ長を活かしきれていない。そこで、データ値を8bitの範囲に拡大し、且つ見易い画像を作成するためのヒストグラムを正規分布に変換した。

#### ⑥ ナチュラルカラー画像作成のための緑色データ作成

スポットデータからナチュラルカラー画像を作成するためには、一般的にバンド1に青色、バンド2に赤色、バンド3に緑色を割り当ててカラー合成する手法が取られている。

しかし、この手法によると、水域等の赤外線が吸収されてしまう部分の色調が紫色がかり、ナチュラルカラー画像とは名ばかりの不自然な画像になってしまう。これは、緑色を割り当てているバンド3が、近赤外線域のデータであることに起因している。そこで、緑色を割り当てるバンド3のデータに可視光域（緑色）のバンド1のデータを掛け合わせ、水域等でデジタル値が低下する部分を補うことにより、擬似的に可視光域の緑色データを作成した。

#### ⑦ 鮮鋭化処理（エッジ強調）

モザイク済みのバンド1、バンド1×バンド3及びバンド2のデータに対して、図-8に示す3×3の空間フィルタによる鮮鋭化処理（エッジ強調）を施し、画像のボケ感を無くした。

#### ⑧ 色調調整

目標とする色調に近づけるために、各バンドのデータに対し、ゲイン及びオフセットを変えて、最終的な色調の調整を行った。

#### ⑨ 画像データへのスケール及び文字入れ

色調の調整が済んだ画像の余白部分にスケールやデータの仕様等の書き込みを行った。以上のような手順で処理したスポット画像を図-9に示す。一般に入手し得る衛星データの中で最も良い解像力を示すデータだけに、各ウラン鉱床地区へのアクセス道路は勿論のこと、鉱床上のグリッド試錐のための作業道路も識別が可能である。

画像の色調は、湿地帯の色調がやや黄色がかったものの、従来のナチュラルカラー画像に比べればより自然な色調が得られており、また、モザイクによる接合線も見えず、当初の目標は達成されたと思われる。尚、画像の縦方向に濃度差による縞状のパターンが見られるが、これはスポット衛星に搭載されているHRVセンサーのCCDの各素子の感度のバラツキによるもので、除去することは困難である。

## 4. 今後の予定

今後は、リモートセンシングデータのみならず、物探データやその他の解析データ等を対象に画像処理技術を応用していくと共にCAD等の分野も取り組む予定である。



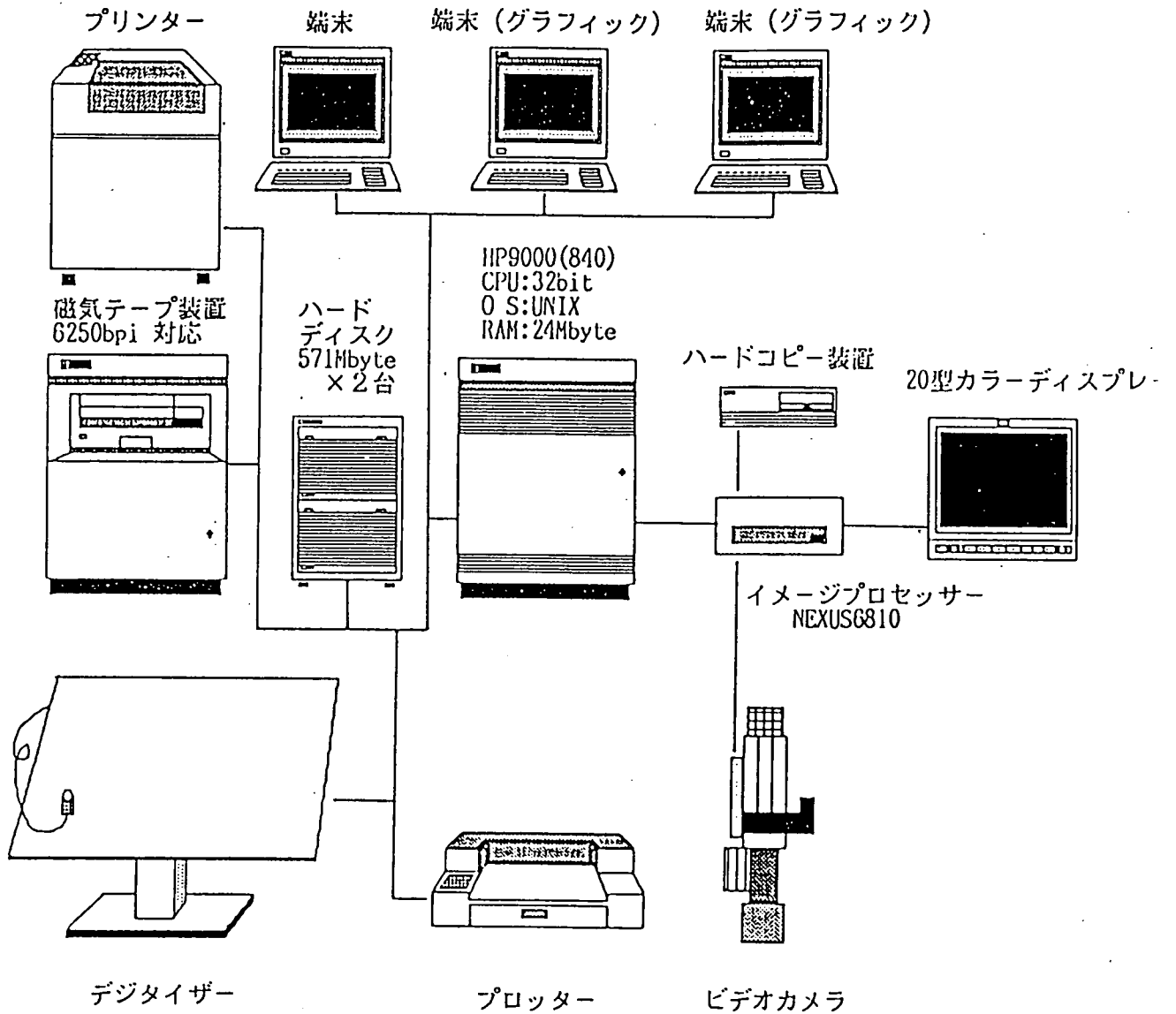
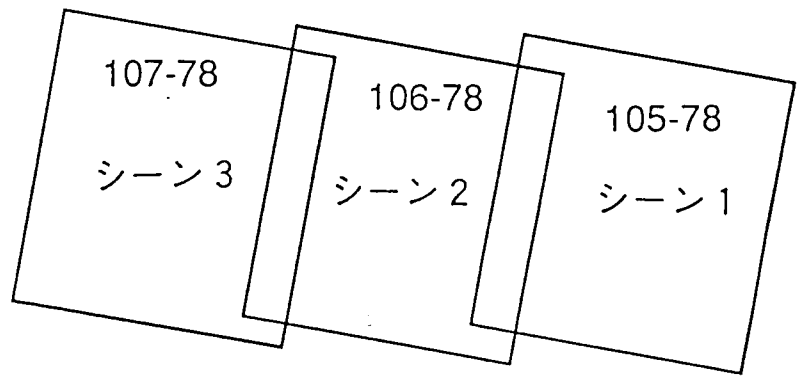
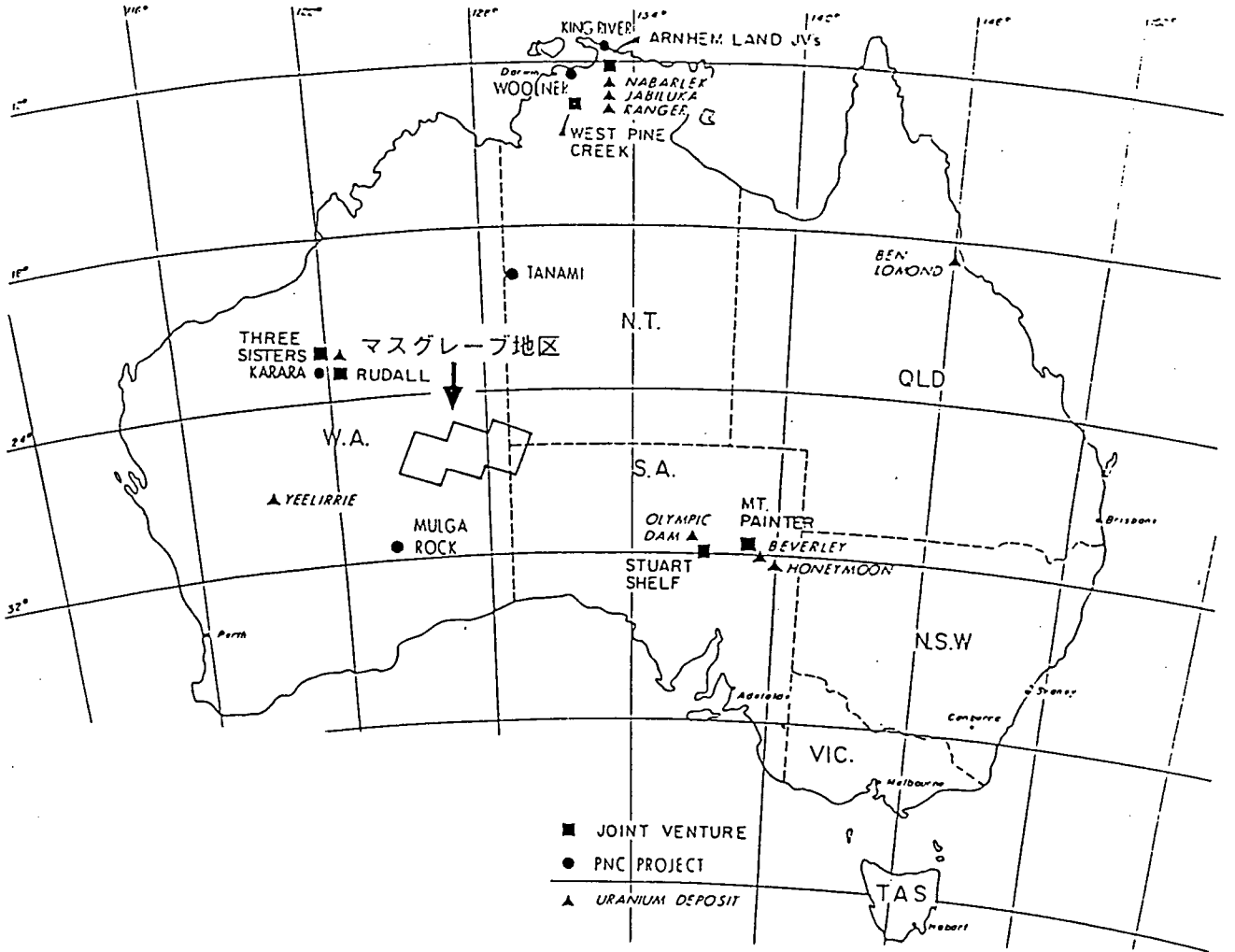


図-1 画像処理システム構成図



図一 2 解析対象地区位置図

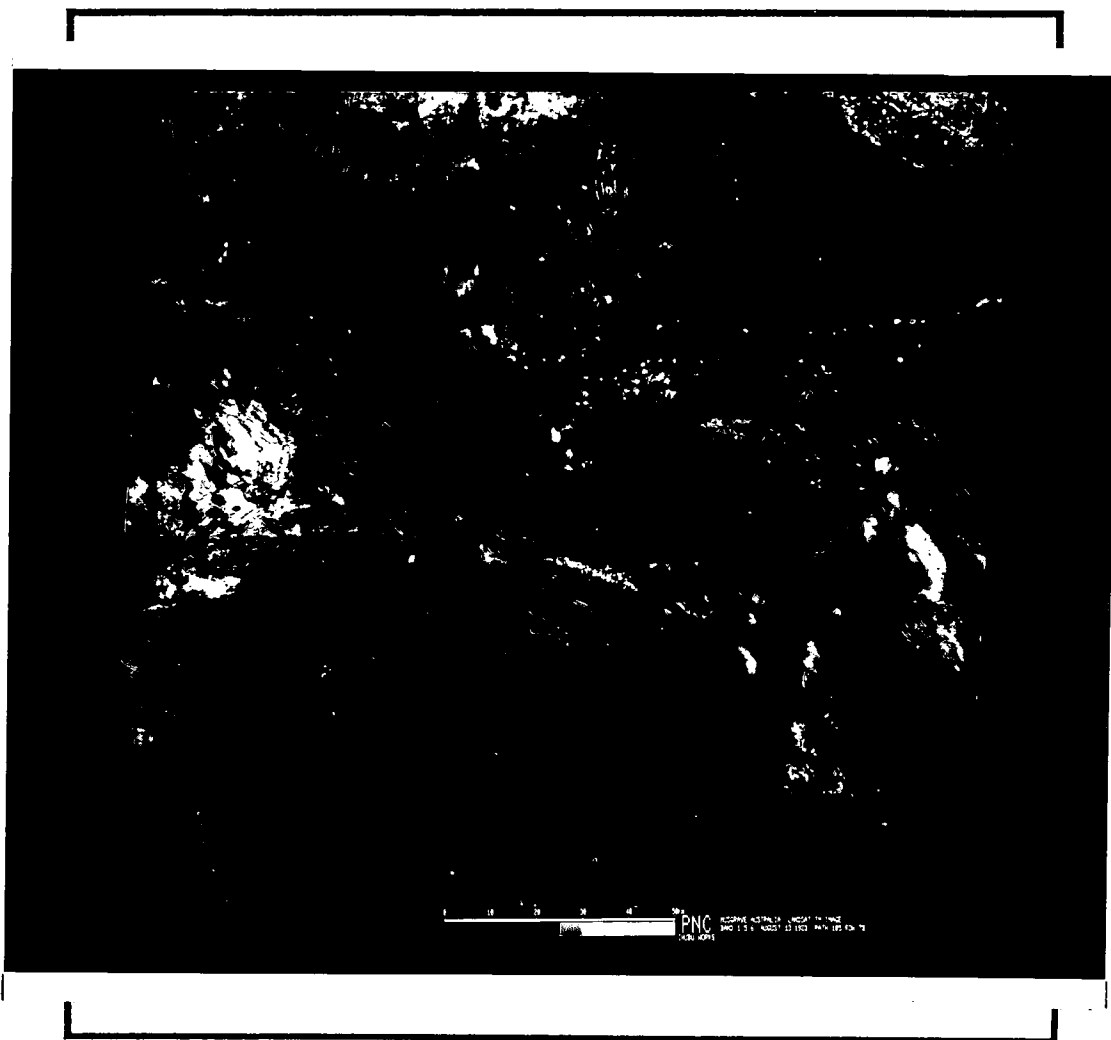


図-3 ランドサットTMフォールスカラー画像（シーン1）

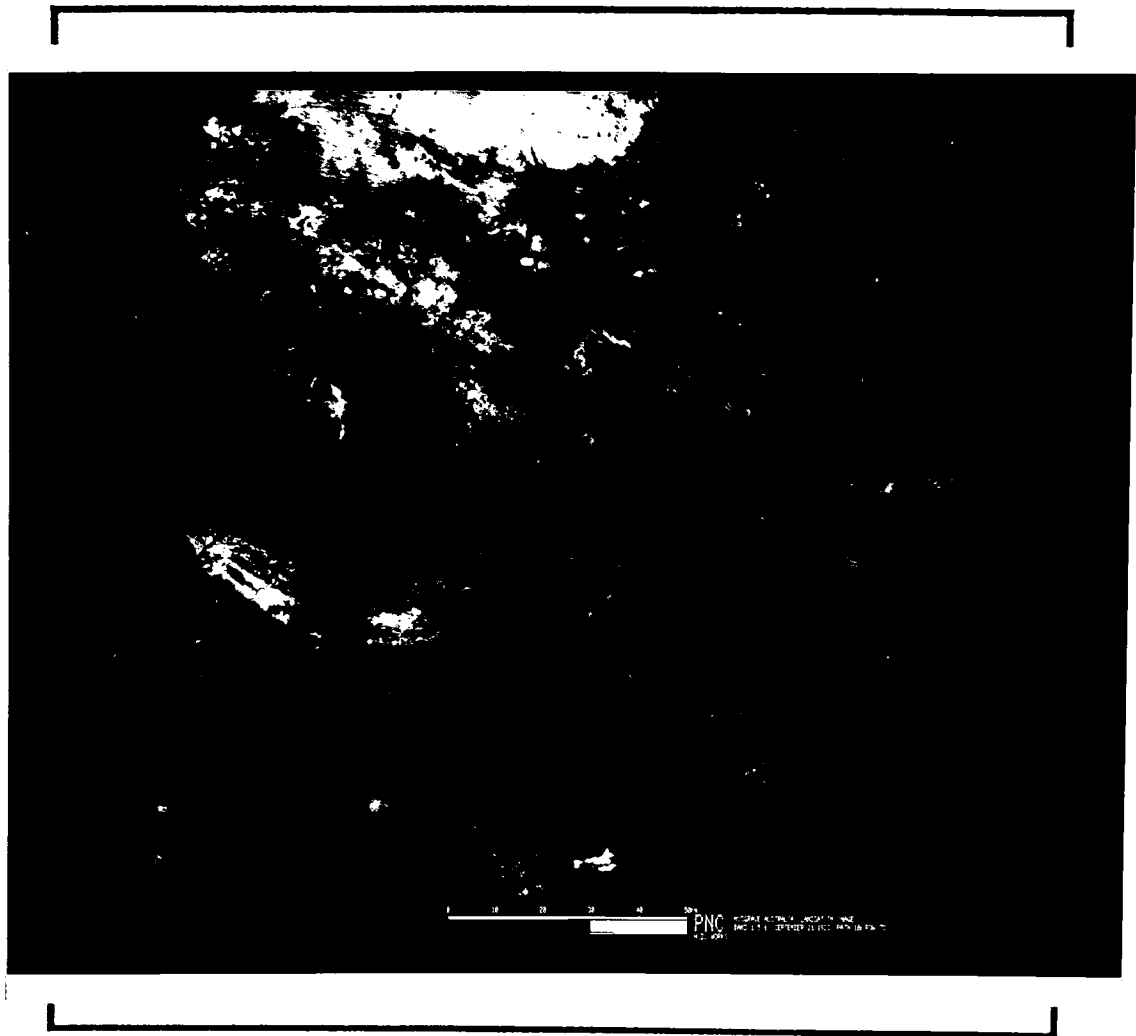
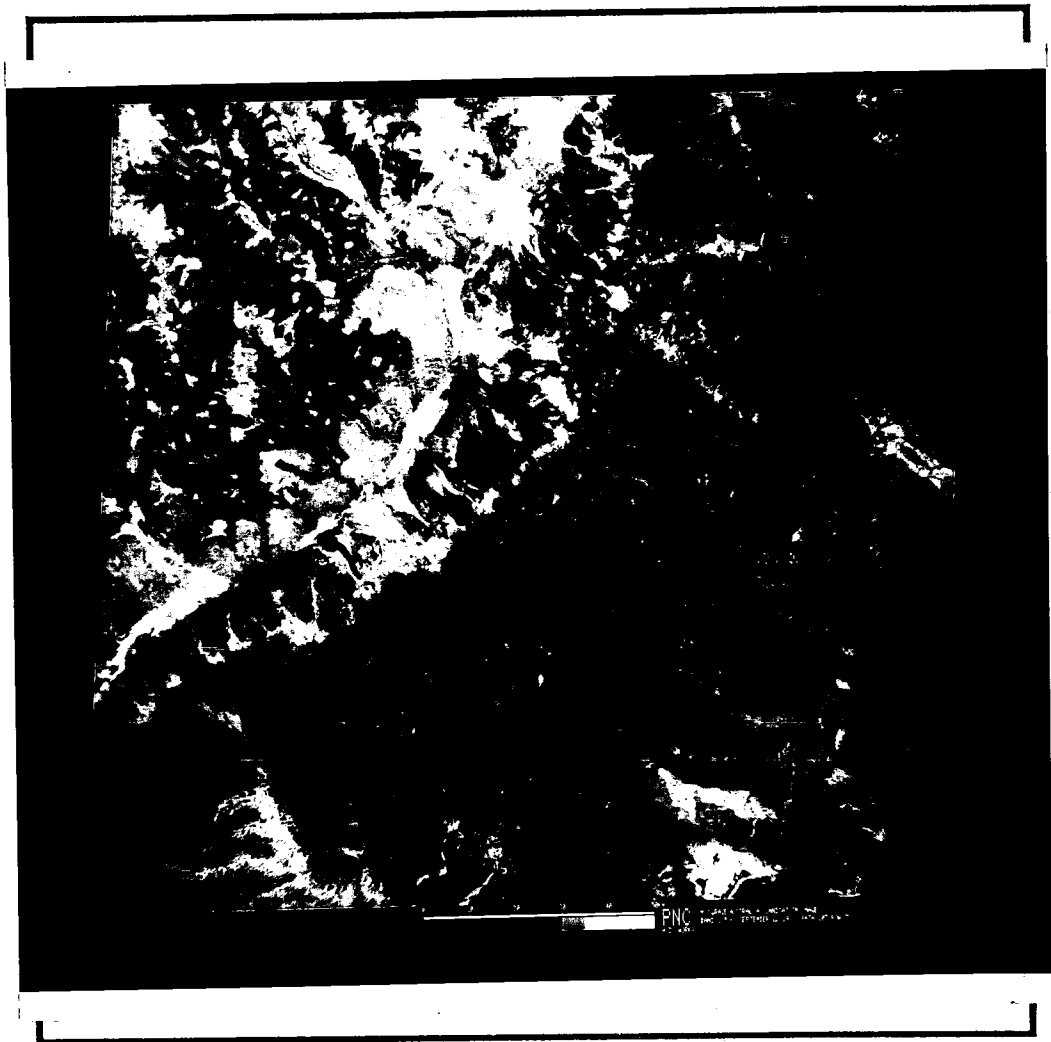
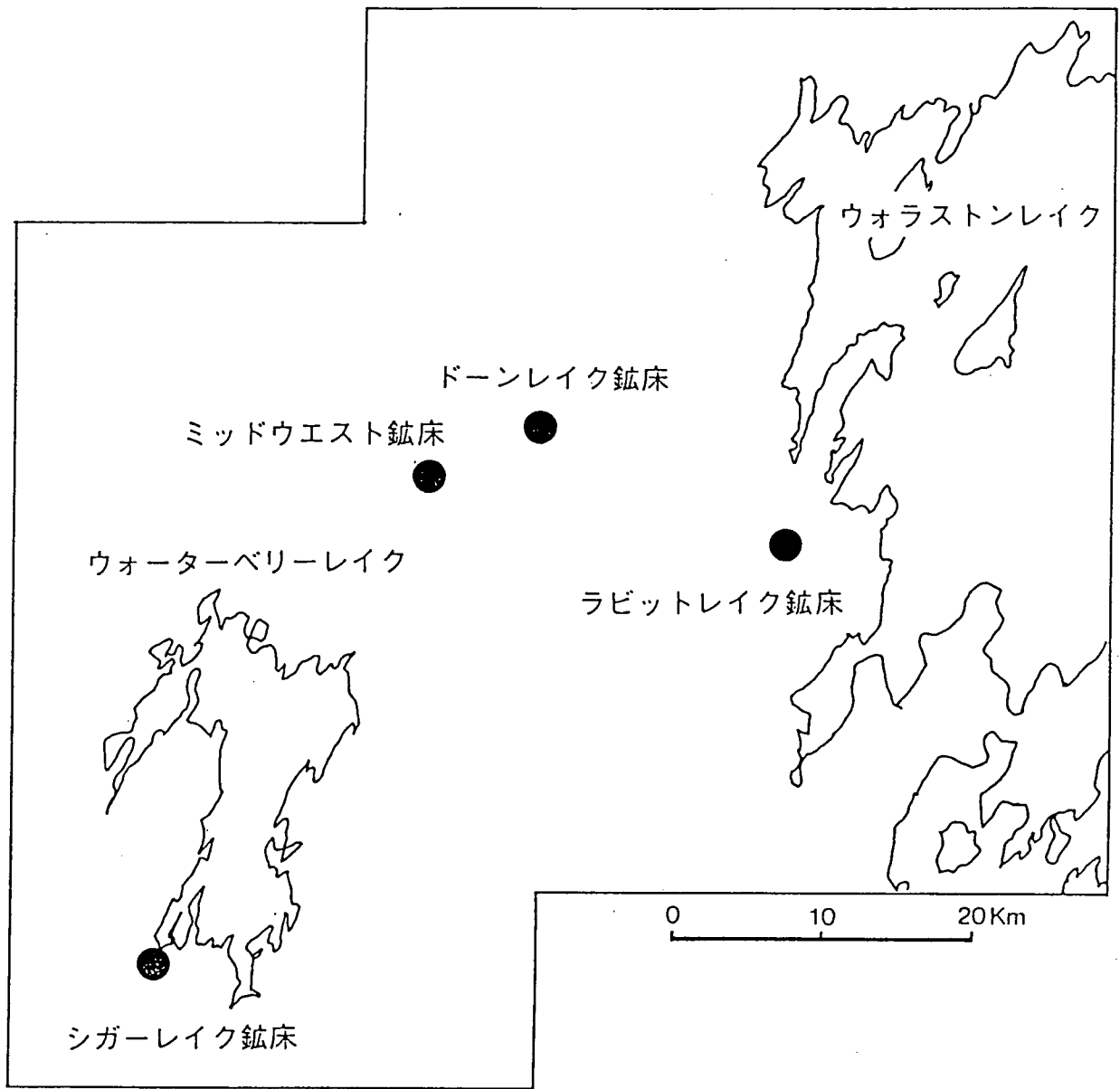


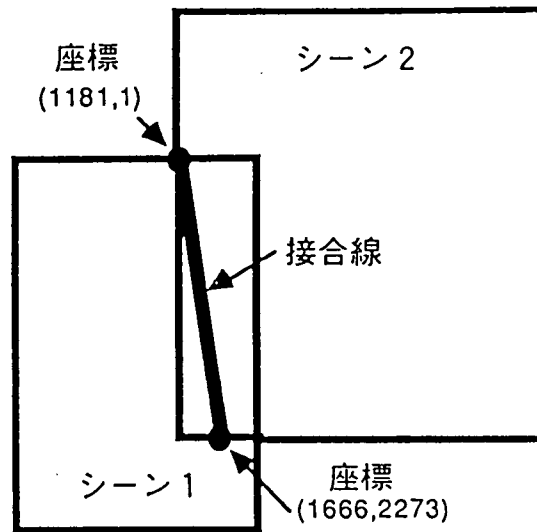
図-4 ランドサットTMフォールスカラー画像（シーン2）



図ー5 ランドサットTMフォールスカラー画像（シーン3）



図一 6 解析対象地区位置図



図一 7 モザイク配置図

0	-1	0
-1	1.5	-1
0	-1	0

図一 8 鮮鋭化処理に使用した空間フィルター

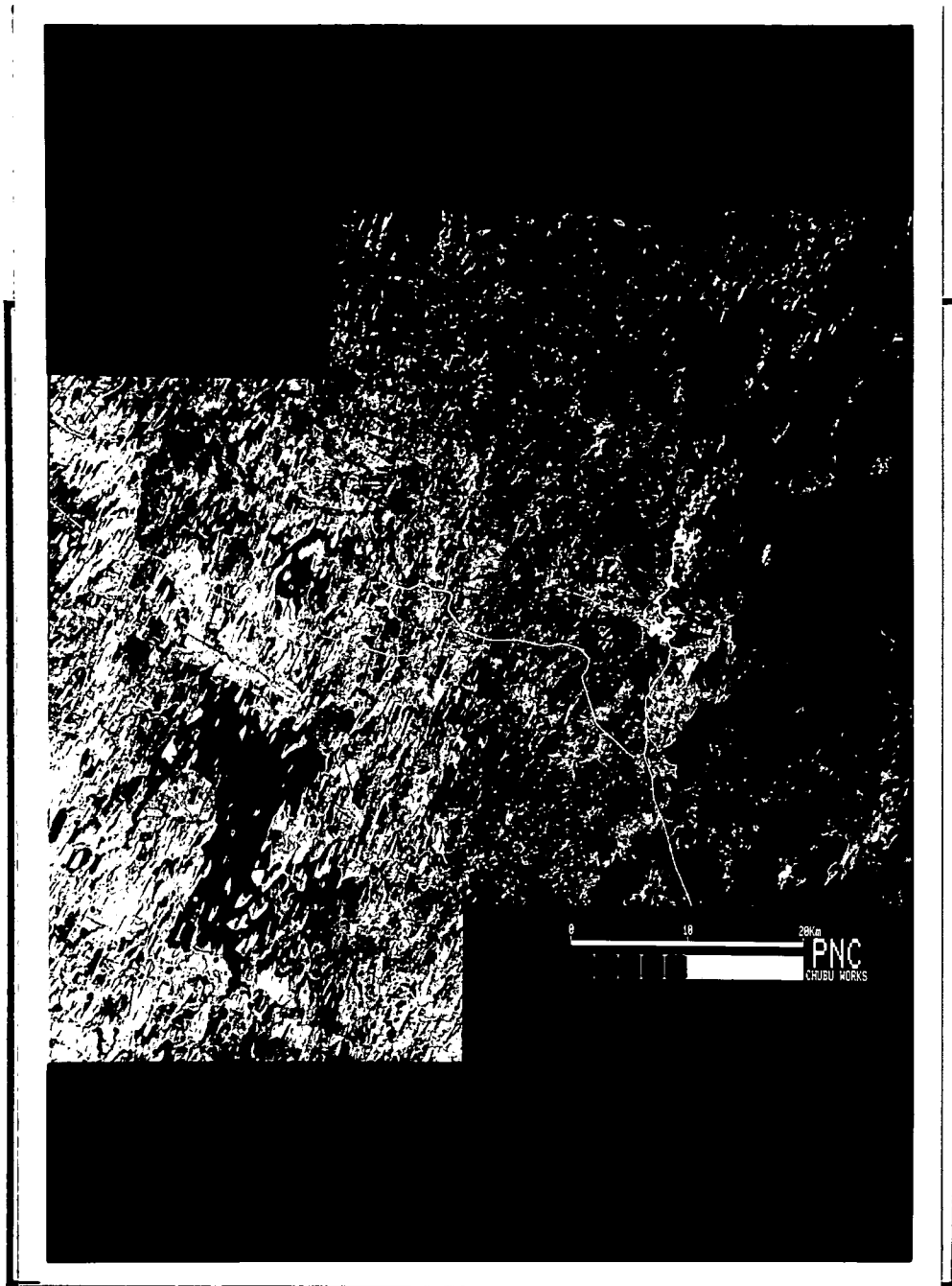


図-9 スポットHRVナチュラルカラーモザイク画像



## 1.6 熱流量探査装置の開発

担当 仙波 毅

### 1. はじめに

地中のウラン鉱床あるいは割れ目帯をはしる熱水は、発熱体として周辺の岩盤に熱を伝える。火山地帯におけるマグマ等のような強力な熱源が存在しない地域において、地中の熱の伝搬状態を注意深く測定することにより発熱体の存在、規模、位置を推定でき、直接法物理探査として鉱床発見に役立つ可能性がある。この考えのもと、その可能性を検討するために、昭和62年度シミュレーションを実施した。その結果に基づき昭和63年度、探査装置の開発、平成元年度探査装置を用いて測定を行い、得られたデータを利用して地温勾配に影響を及ぼす各種擾乱要因に関する検討を実施した。

この報告書は、過去3年間の経緯をまとめたものである。

### 2. 経緯

#### 2-1 昭和62年度

##### 2-1-1 目的

地下に存在する発熱源が地下温度分布に与える影響を、熱伝導理論に基づく数値シミュレーションによって評価し、発熱源の賦存深度、規模および発熱量との関係を明らかにする。

##### 2-1-2 シミュレーション

###### (1) シミュレーションプログラム

シミュレーションプログラムは日鉱探開㈱の開発した3次元流動シミュレータの機能のうちの、熱伝導理論に基づいた熱伝導シミュレータを使用し、3次元構造モデルについての非定常熱伝導シミュレーションを行った。

###### (2) モデル

Fig. 2.1に示すように、 $X = 0$ 、 $Y = 0$ で対称面をもつ3次元構造モデルを設定した。水平方向 $20\text{km} \times 20\text{km}$ 、深度は地表より $1\text{km}$ である。シミュレーションを行う領域は、全体モデルの4分の1とし（水平方向 $10\text{km} \times 10\text{km}$ 、深度は地表より $1\text{km}$ ）、この領域をX方向およびY方向に各13分割、Z方向に31分割し、シミュレーション領域を5239のブロックに分割した。発熱源は、シミュレーション領域における水平方向の広がりを $250\text{m} \times 250\text{m}$ とし下記に示す各条件のもとでシミュレーションを実施した（計18ケース）。

- ① 発熱源の賦存深度（DH）：地表下 100m, 250m, 500m（3ケース）
- ② 発熱源の厚さ（THH）：10m（1ケース）
- ③ 発熱源の発熱量：Table 2.1の通り（6ケース）

Fig. 2.2にモデルのブロック分割図を示す。

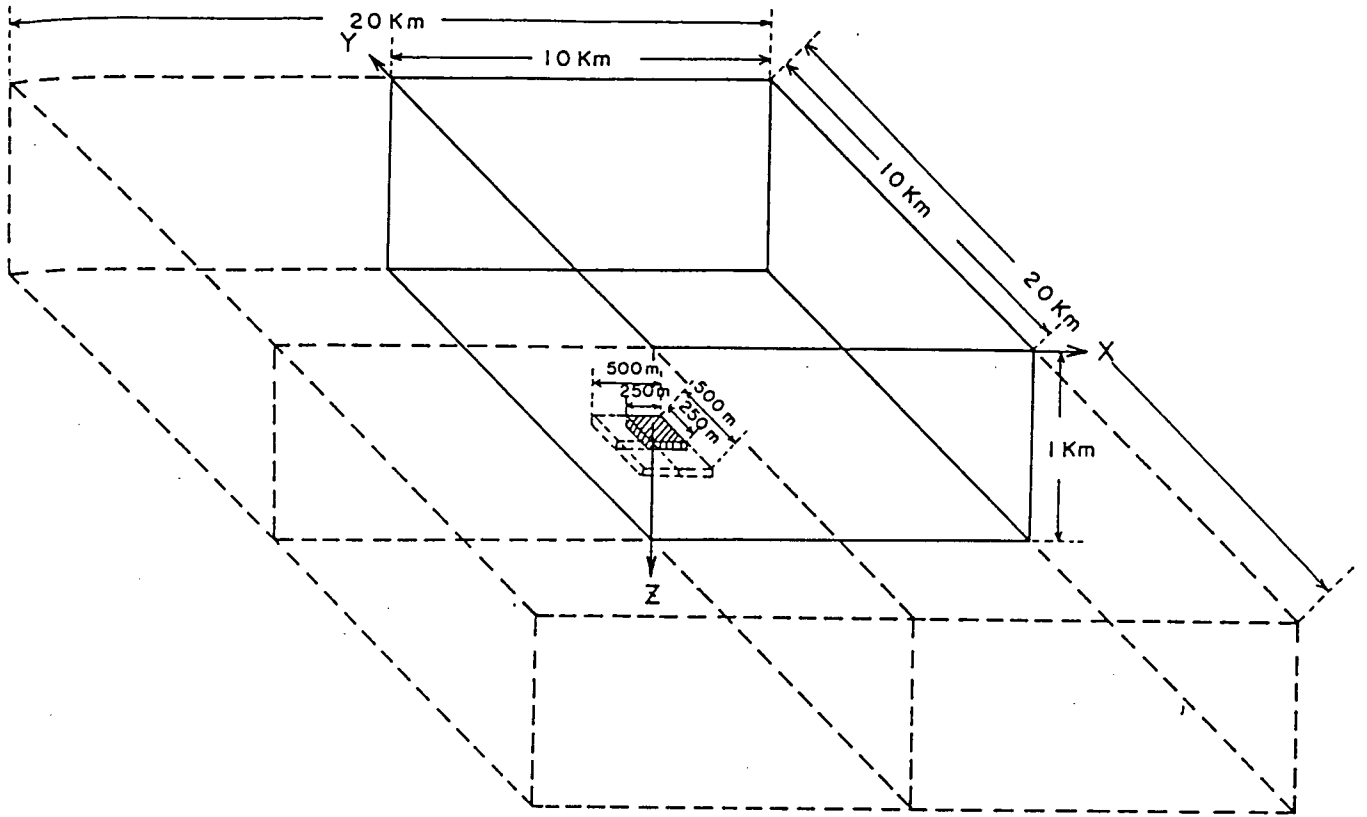


Fig. 2.1 モデル概要図

Table 2.1 発熱源の発熱量

単位体積当りの 発 熱 量 $\times 10^{-3} \text{ W} / \text{ m}^3$	発熱源全体の 発 熱 量 $\times 10^3 \text{ W}$	U品位 %
0.5	1.25	0.2
1.25	3.125	0.5
2.5	6.25	1
5.0	12.5	2
12.5	31.25	5
25.0	62.5	10

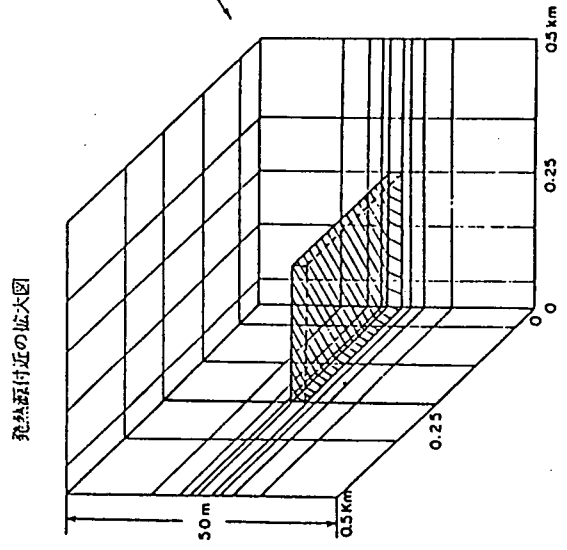
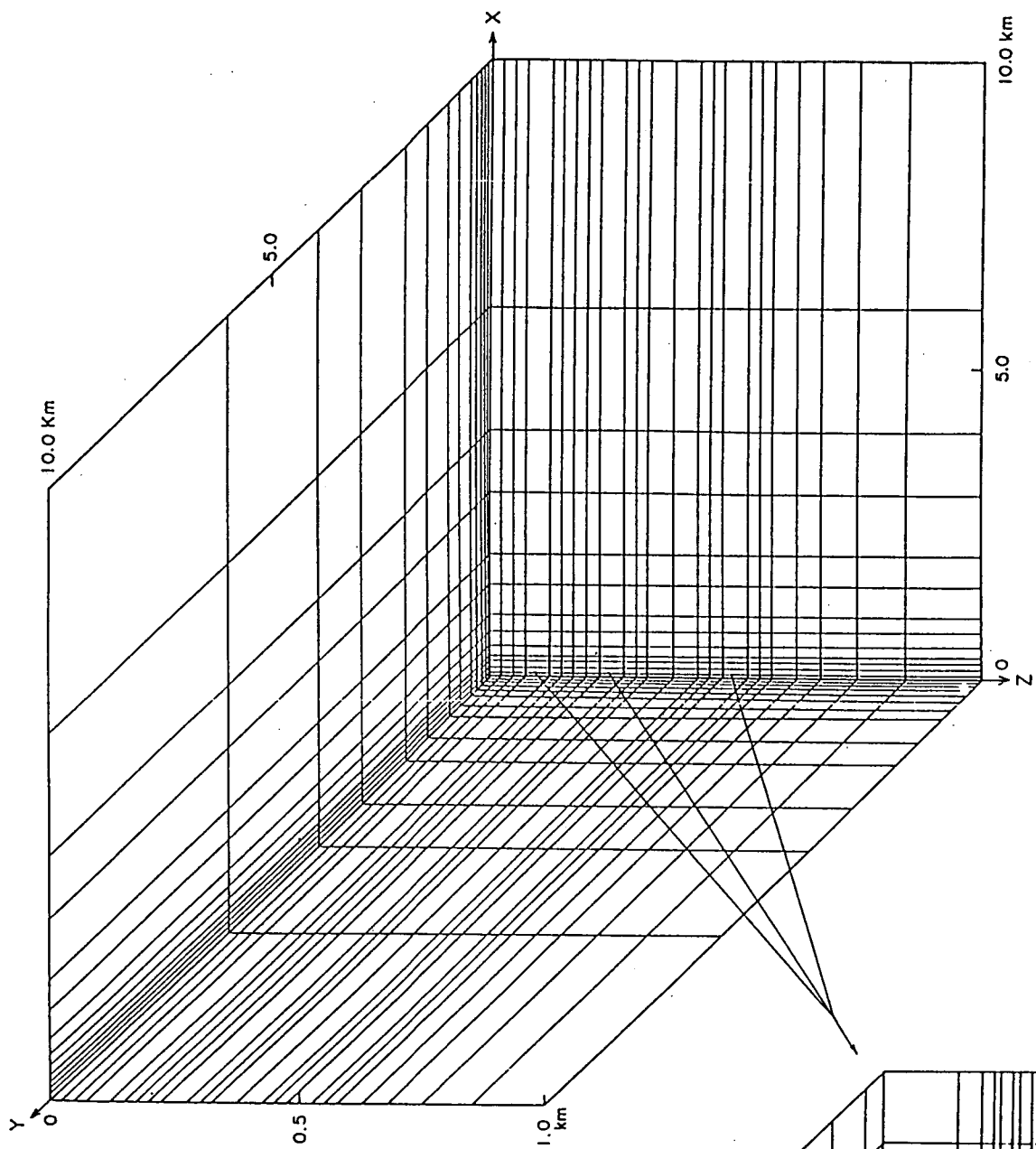


Fig. 2.2 モデルのブロック分割

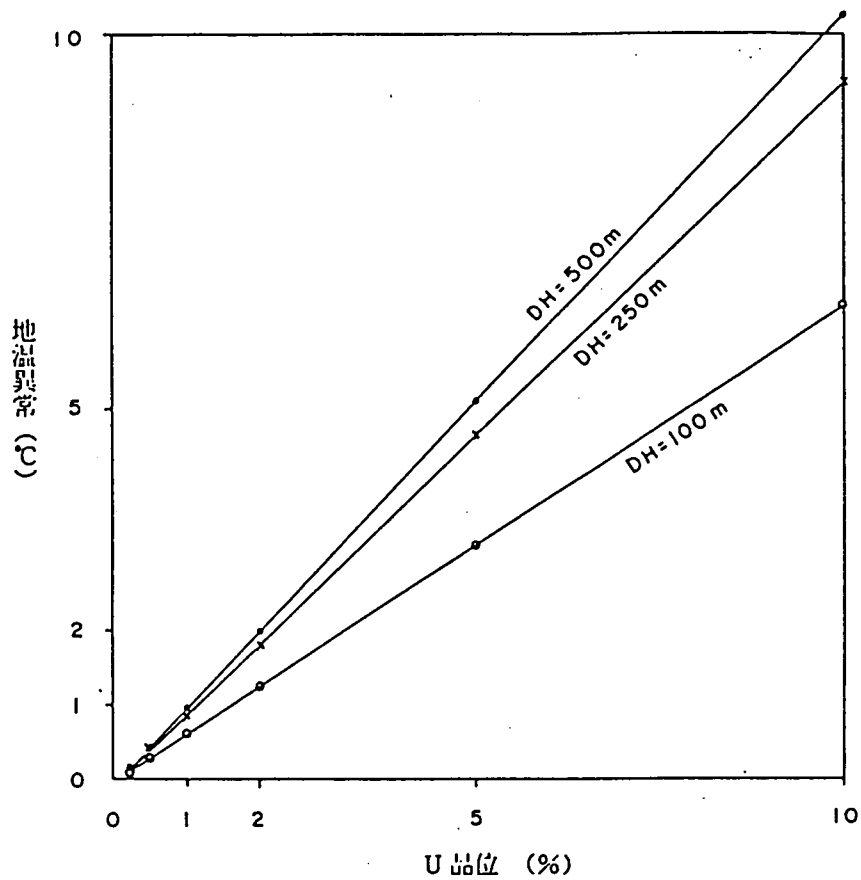


Fig. 2.3 U品位と発熱源中心における地温異常との関係

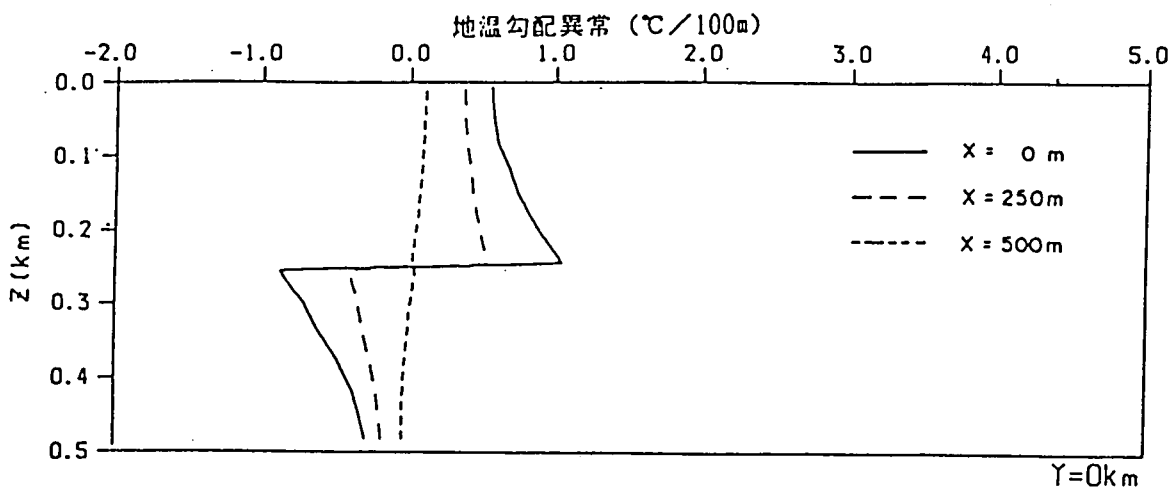


Fig. 2.4 地温勾配異常曲線

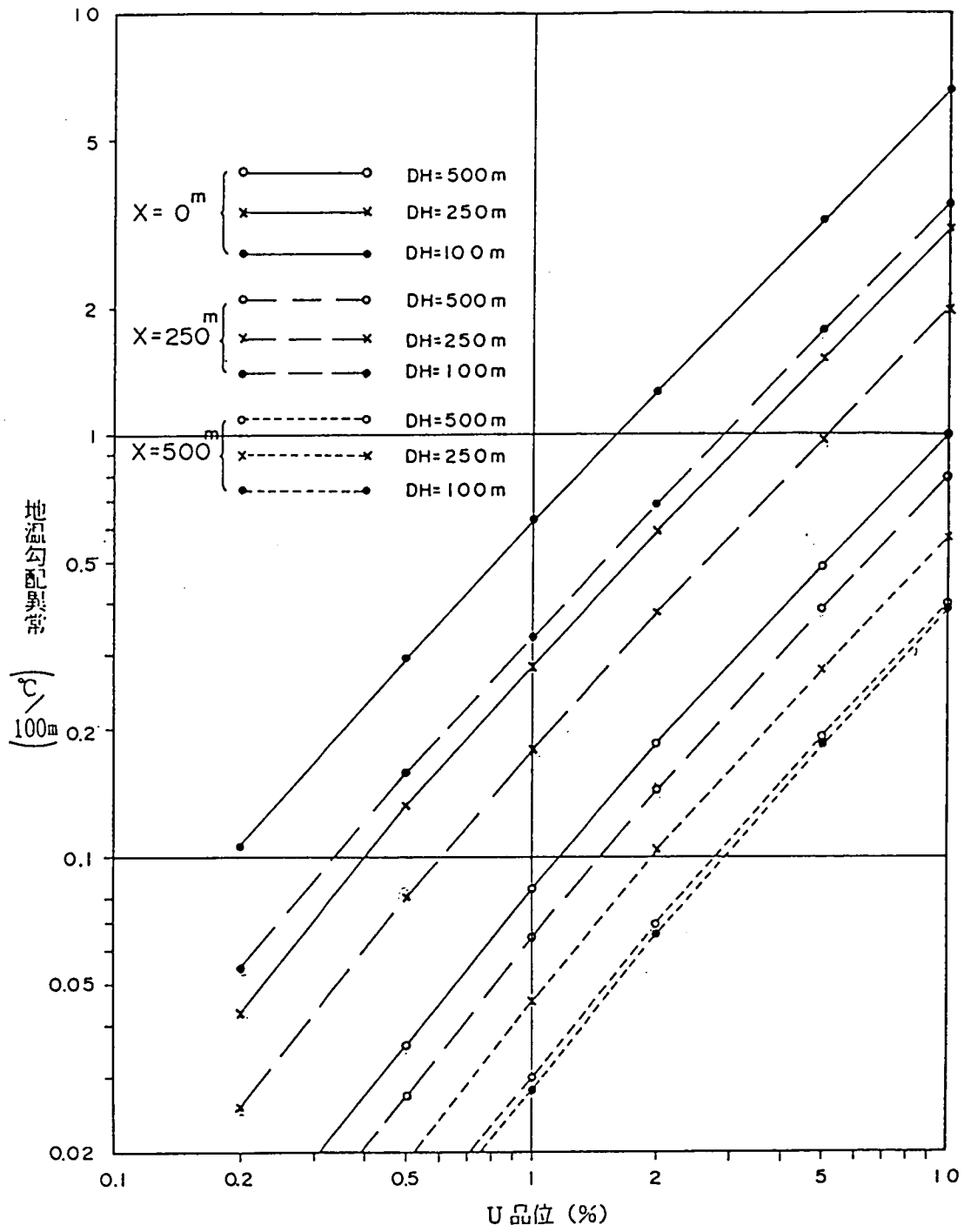


Fig. 2.5 U品位と深度50mにおける地温異常との関係

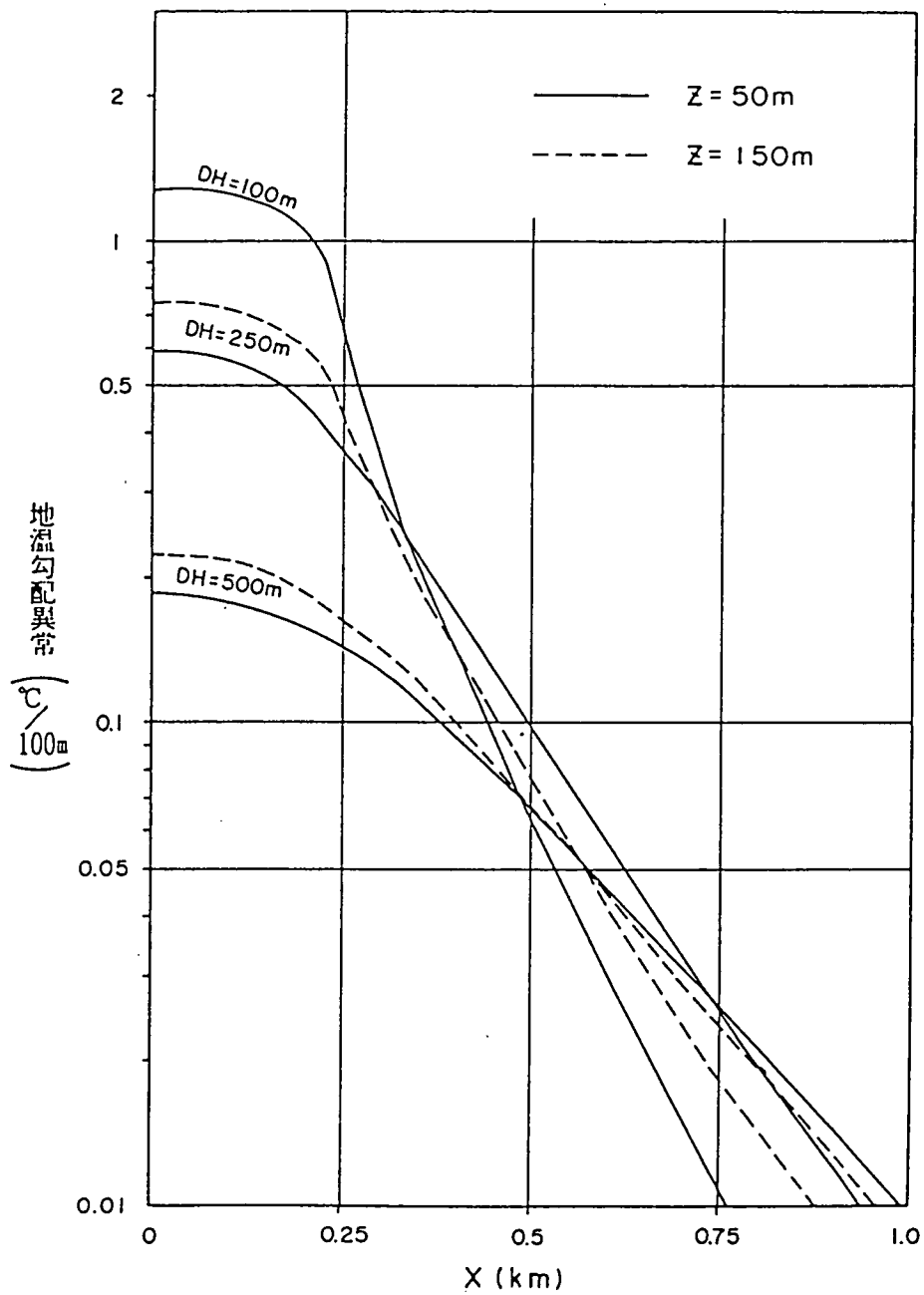


Fig. 2.6 U=2%のケースの地温勾配異常のX方向の変化

### 2-1-3 結果

昭和62年度、発熱源の形状を板上直方体に固定した上で、18ケースについてシミュレーションを実施した結果、以下の事柄が明らかになった。

- (1) 発熱源における地温異常はU品位1%で0.6~1.0℃、2%で1.2~2.0℃である (Fig. 2.3)。一方地温勾配異常は、発熱源を境として上部で正、下部で負の特徴的なパターンを示す (Fig. 2.4 ; DH=250m, U=2%)。
- (2) U品位と地温異常および地温勾配異常とは直線的な比例関係がある (Fig. 2.3 および Fig. 2.5)。
- (3) 発熱源上 (X=0) における地温勾配異常は、発熱源の賦存深度が浅いほど大きな値を示す。一方発熱源側方では、発熱源からの距離に従って急激に減少する。この減少の度合いは、賦存深度が浅いほど大きい (Fig. 2.6)。
- (4) 発熱源 (ウラン鉱床) の検知を妨げる擾乱要因としては、気温の変動, 地形の起伏, 地下水の流動, 掘削による擾乱, 熱伝導率の不均一性などが挙げられる。これらの項目が地温および地温勾配に与える影響についての定量的評価は検討課題となる。
- (5) ウラン鉱床の探査を目的として地温測定を行うためには、微小な温度変化が検出できる多点埋込式が望ましい。地温勾配の測定精度は0.05℃/100mより高いことが望まれる。

## 2-2 昭和63年度

### 2-2-1 目的

昭和62年度のシミュレーション結果を基に、試錐孔内において地温勾配を測定する測定機器を試作する。

### 2-2-2 結果

昭和63年度、以下の仕様の地熱流量精密測定装置を試作した。

#### (1) 仕様

##### ① 測定装置本体

##### (a) サーミスタ切換部

本体のCPUからのチャンネルシフト信号と前チャンネルのON信号により、プローブ部のCMOSアナログスイッチを切り換えて、サーミスタセンサに測定電流を供給すると同時にサーミスタセンサを検出させる。

切換方式                      4線式アナログスイッチ

##### (b) 抵抗検出プリアンプ部

抵抗測定範囲                      300Ω ~ 20kΩ

抵抗測定精度                      ±0.05%, 0.01℃相当

レンジ                              4レンジ、自動切換

A/D変換                              0 ~ +1.9999, 分解能 0.005%

- (c) クロック部
- |        |           |
|--------|-----------|
| 時刻計測精度 | 10ppm, 月差 |
| 計測項目   | 年 月 日 時 分 |
| バックアップ | LiCl電池    |
- (d) データメモリ部
- UVEPROMによる測定メモリ機能
- (e) 表示部
- |      |                        |
|------|------------------------|
| 表示器  | LED 赤 8桁               |
| 表示内容 | チャンネル2桁, データ5桁, 電源電圧5桁 |
- (f) 操作部
- |            |                 |
|------------|-----------------|
| 表示選択       | 温度または電源電圧       |
| 表示チャンネル選択  | 2桁              |
| 連続測定選択     | スイッチにより選択       |
| 測定時間間隔設定   | スイッチにより選択       |
| 測定チャンネル数設定 | 最大99チャンネルまで設定可能 |
- (g) その他
- |      |                               |
|------|-------------------------------|
| 電源   | DC 8 ~ 14V (単1アルカリ電池8本使用を標準)  |
| 動作環境 | 0 ~ 50°C, 65 ± 20% RH、露点のないこと |
- ② 試錐孔用プローブ
- |          |                 |
|----------|-----------------|
| 温度センサ    | サーミスタセンサ        |
| 温度測定範囲   | 0 ~ 100°C       |
| プローブ数    | 21個             |
| プローブ間隔   | 5 m             |
| プローブ外径   | 約25mm φ         |
| 温度勾配測定精度 | 0.05°C / 100m以上 |
| ケーブル     | 8芯              |
- ③ データ入力・出力ソフトの作成
- |    |               |
|----|---------------|
| 項目 | 測定部との通信       |
|    | 測定データの取込      |
|    | 測定抵抗値から温度への変換 |
|    | サーミスタ特性の補正    |
|    | データのファイル比     |



## (2) 機能

- ① 1 / 1000℃の温度測定機能
- ② 0 ~ 100℃の温度測定範囲
- ③ サーミスタの抵抗値による測定機能
- ④ 内部時計機能による内部パワーオンオフ機能
- ⑤ 経時時刻測定機能
- ⑥ UVEPROMによる測定値メモリ機能
- ⑦ モニタ表示器による温度測定機能
- ⑧ デーヂチェーン方式によるセンサチャンネル増大機能
- ⑨ RS232Cによるコミュニケーション機能
- ⑩ CPU暴走の自動復帰機能

## 2-3 平成元年度

### 2-3-1 目的

昭和63年度開発した地熱流量精密測定装置を用いて取得した地温に関するデータを基にして、これを処理・解析することにより地温に及ぼす各種の擾乱要因についての検討を行い、地温分布に関する情報を抽出する。

### 2-3-2 作業内容

上記測定装置により試錐孔内で取得したデータについて、以下に挙げる各種要因が地温および地温勾配に与える影響を検討する。

- ① 地表付近の気温の変動
- ② 深度による変化
- ③ 地形の影響
- ④ 試錐孔による影響
- ⑤ 岩石による差（結晶質岩および堆積岩）
- ⑥ 地下水面の影響
- ⑦ 地下水流動による影響

また上記要因のうち、今回の取得データからは評価できないものについてはその理由を示し、ウラン鉱床のような地下に賦存する熱源からの温度分布異常を測定する場合に必要な手法についての考察を行う。

### 2-3-3 測定位置

岐阜県瑞浪市正馬様洞 AN-1号孔, AI-7号孔およびAI-8号孔

AN-1号孔 結晶質岩

AI-7号孔およびAI-8号孔 堆積岩

Fig. 2.7に試錐孔位置図を示す。

#### 2-3-4 測定期間

平成元年10月3日～平成2年1月31日

#### 2-3-5 結果

平成元年度、AN-1号孔、AI-7号孔およびAI-8号孔において取得した地温に関するデータを処理・解析し、2-3-2に示す各項目による擾乱が、取得したデータに対してどのような影響を及ぼしているかを検討した結果、以下の事柄が明らかになった。

- (1) 3つの試錐孔で取得したデータは、気温の年変化の及ばない25m以深の温度はほぼ安定しているが（Fig. 2.8例えばAI-7の結果）、孔内水の流動に起因すると思われる短周期的な温度変動が各深度で認められ、この変動の25m以深の標準偏差は0.005～0.01℃であることが判明した（Fig. 2.9）。
- (2) AN-1号孔では、RQD値との比較により温度変動の標準偏差が割れ目頻度に関連することを示唆する結果を得た（Fig. 2.10）。なお各深度（5m間隔）の温度変動について相互相関係数を求めた結果では、短周期的な温度変動に相関性は認められなかった（Fig. 2.11）。
- (3) 地温勾配については、いずれの試錐孔でも深度とともに減少する傾向にあり、近接するAI-7号孔とAI-8号孔における地温勾配分布はほぼ一致した（Fig. 2.12）。AN-1号孔の地温勾配について11点移動平均（50m間）および21点移動平均（100m間）を行った結果、極めて微弱な地温勾配異常（ $<0.001^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ）についてもその異常区間を明瞭に抽出できることが判明した（Fig. 2.13）。
- (4) AI-8号孔の深度20mで得られた地温変動データ（Fig. 2.14）は、地下水流動との関連性が推察され、地下水流動シミュレーション例（Fig. 2.15）を勘案すると、その流動状況によってはウラン鉱床のような地下に賦存する熱源による温度分布異常を測定する場合には大きな擾乱要因となる。

以上の結果から今後必要となる手法を考察すると以下の通りとなる。

- (1) 測定方式については今回用いた多チャンネル測定方式により、温度データの経時変化を測定する必要がある。地下熱源による微弱な地温および地温勾配の異常を検出するためには、各種要因による地温への影響度を、測定データの変動特性も考慮したうえで評価し除去する必要があるためである。
- (2) 岩石の熱物性値は定常熱伝導状態における地下温度が形成されるうえで重要なファクターとなる。今回、AN-1号孔において抽出した地温勾配異常が岩石の熱伝導率の違いによる可能性もある。したがって、今後地下熱源の存在が予想される地域で調査を実施する場合には熱伝導率測定も並行して行う必要がある。
- (3) 地下水流動による擾乱に関しては、地域的な環境（地形、地質、降雨量等）が関係するため、複数孔における温度測定データを取得し、地域的な特性を考慮したうえで水理学的な観点からの解析が必要と考えられる。

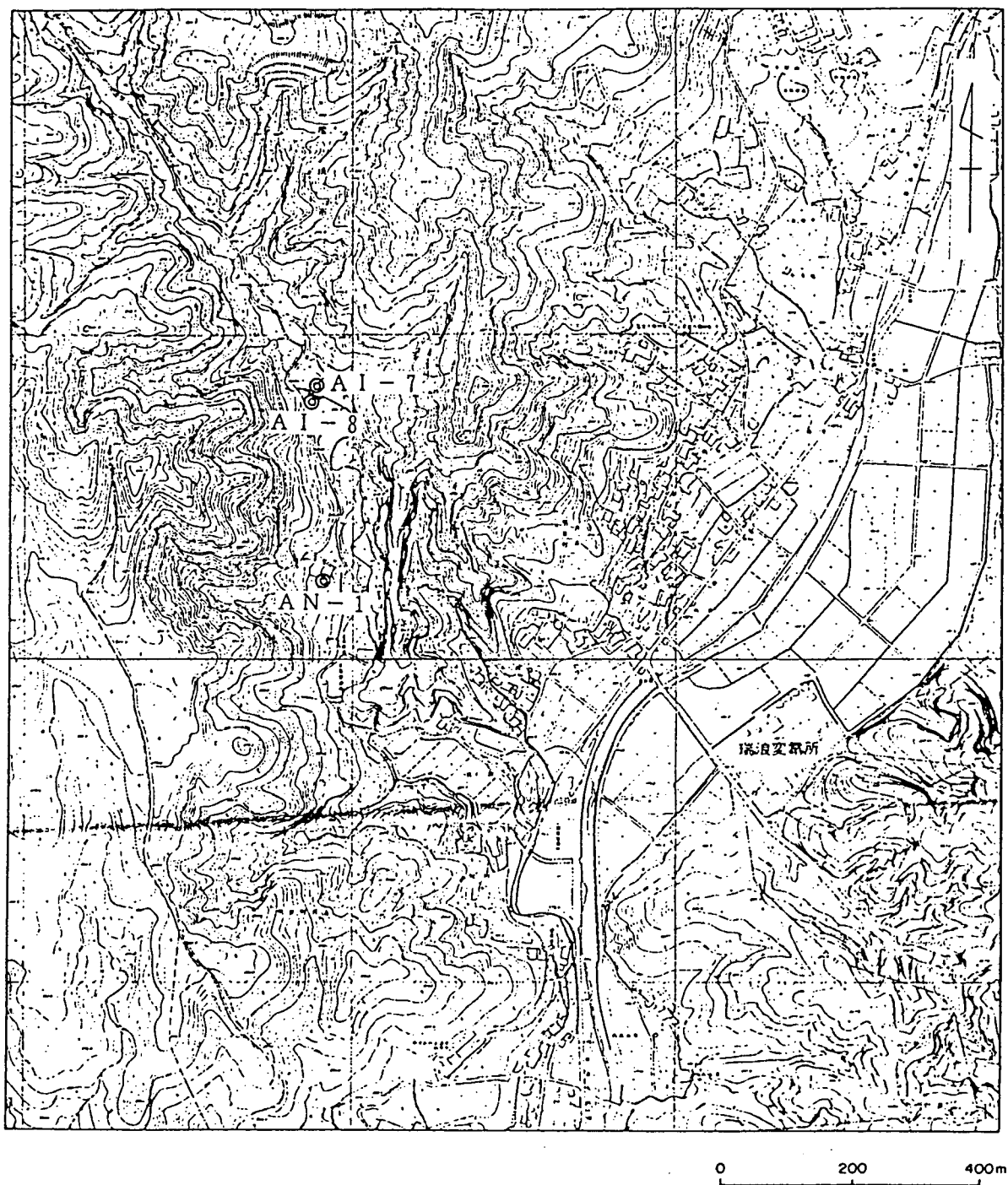


Fig. 2.7 試錐孔位置図

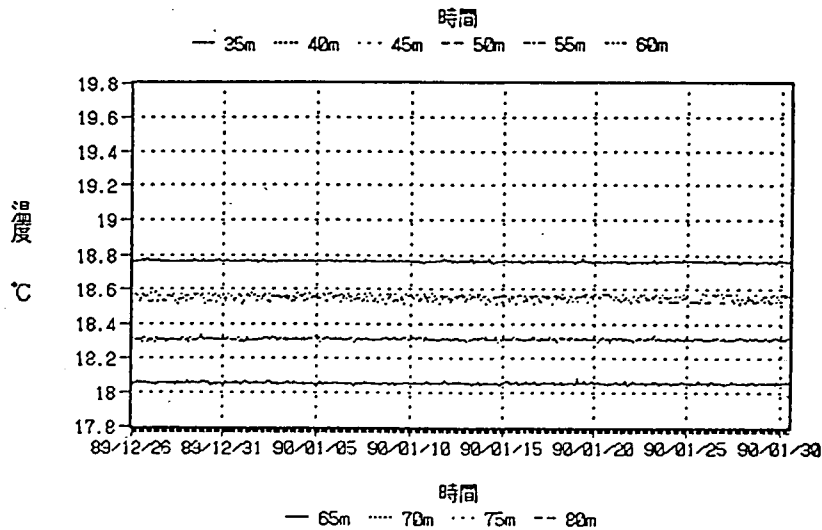
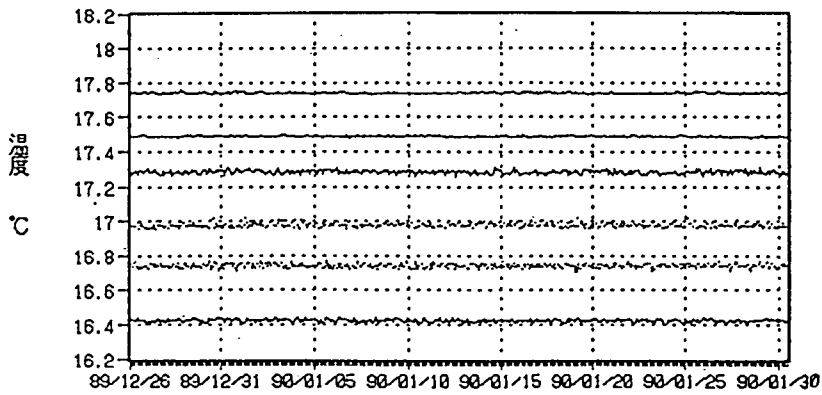
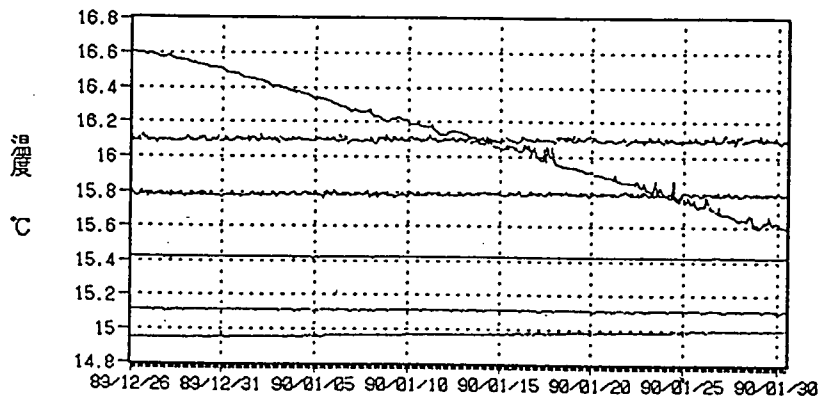
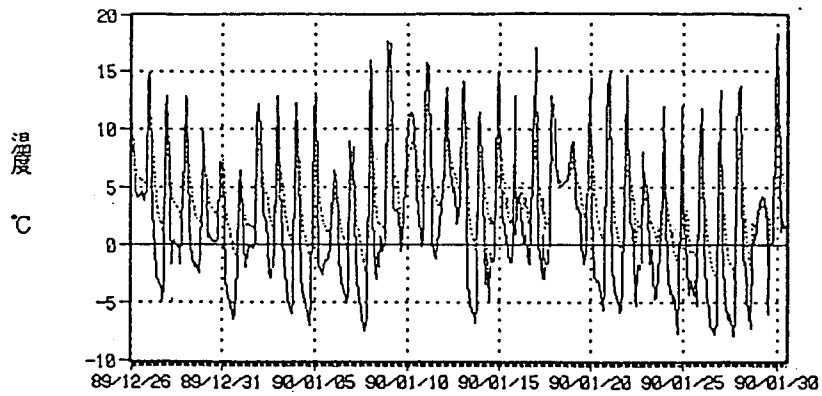


Fig. 2.8 AI-7温度測定データの経時変化図

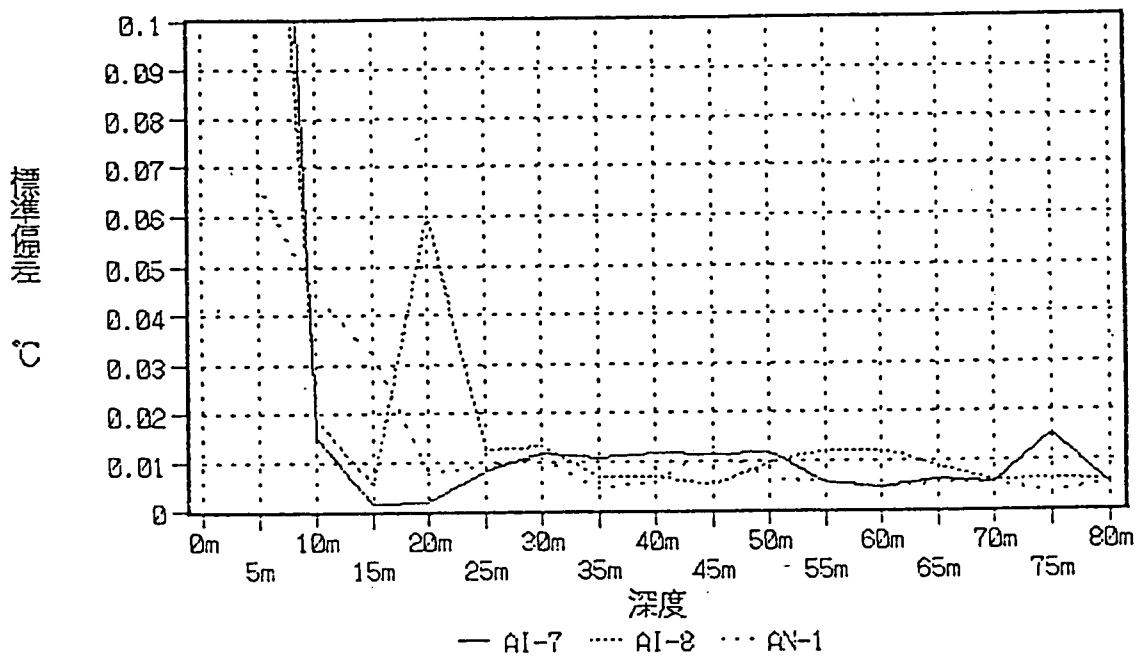


Fig. 2.9 深度別温度変動の標準偏差

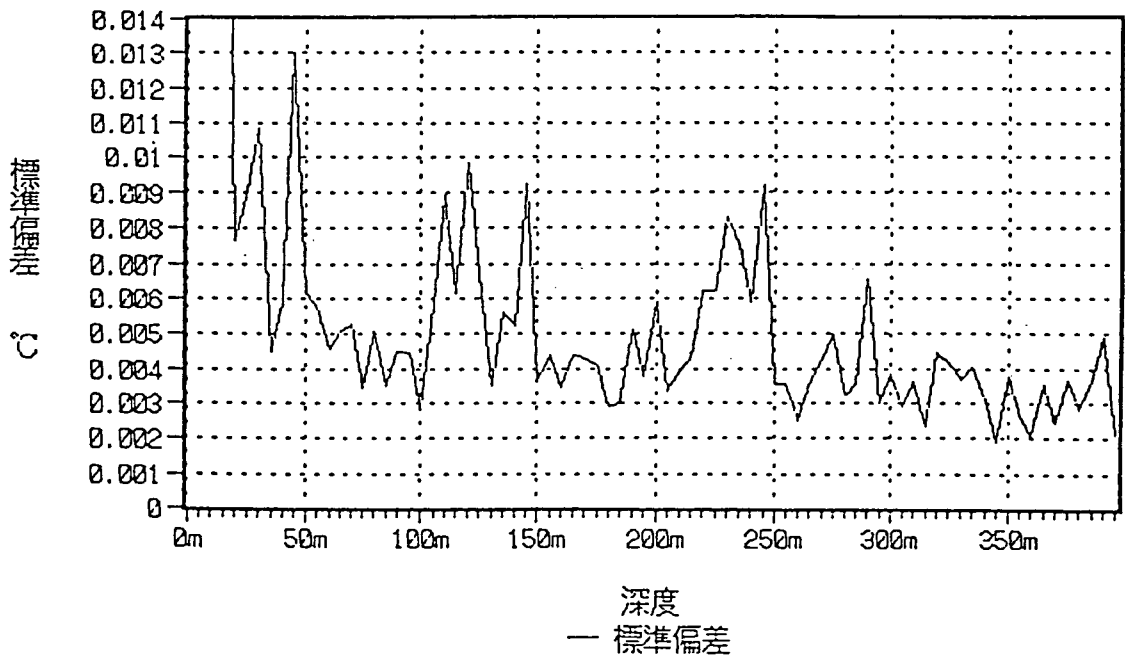


Fig. 2.10 深度別温度変動の標準偏差 (AN-1)

深度 105~125m, 135~145m及び220~245mはRQD値が0~50%の小さな値をとる区間とほぼ一致する。

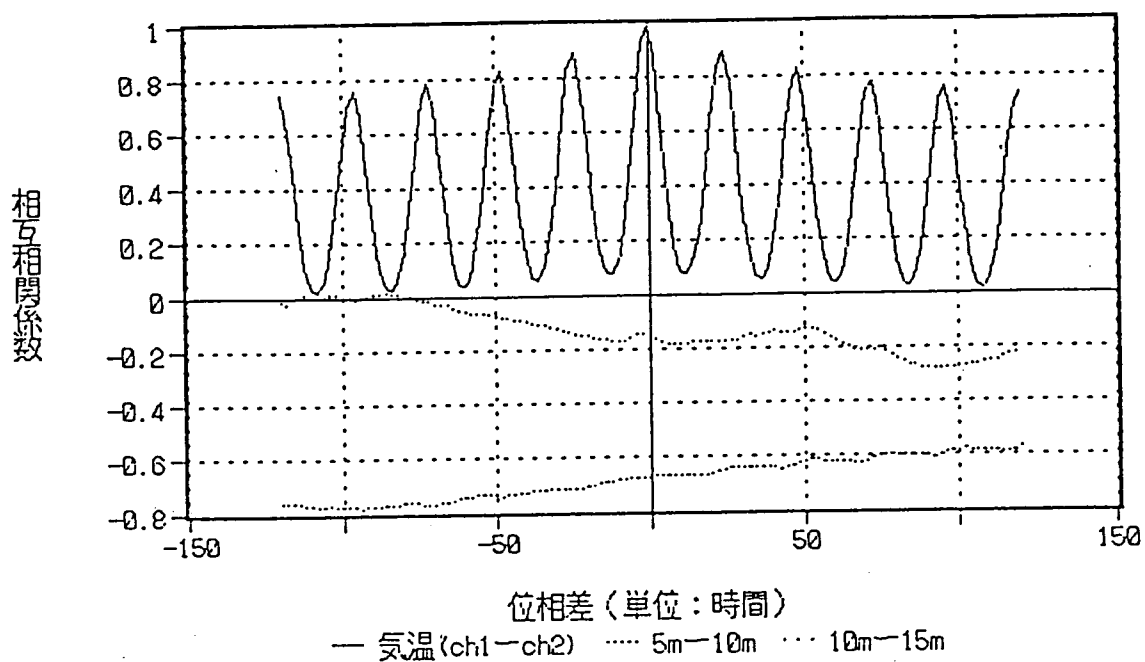


Fig. 2.11 温度変動の相互相関係数 (AI-8)

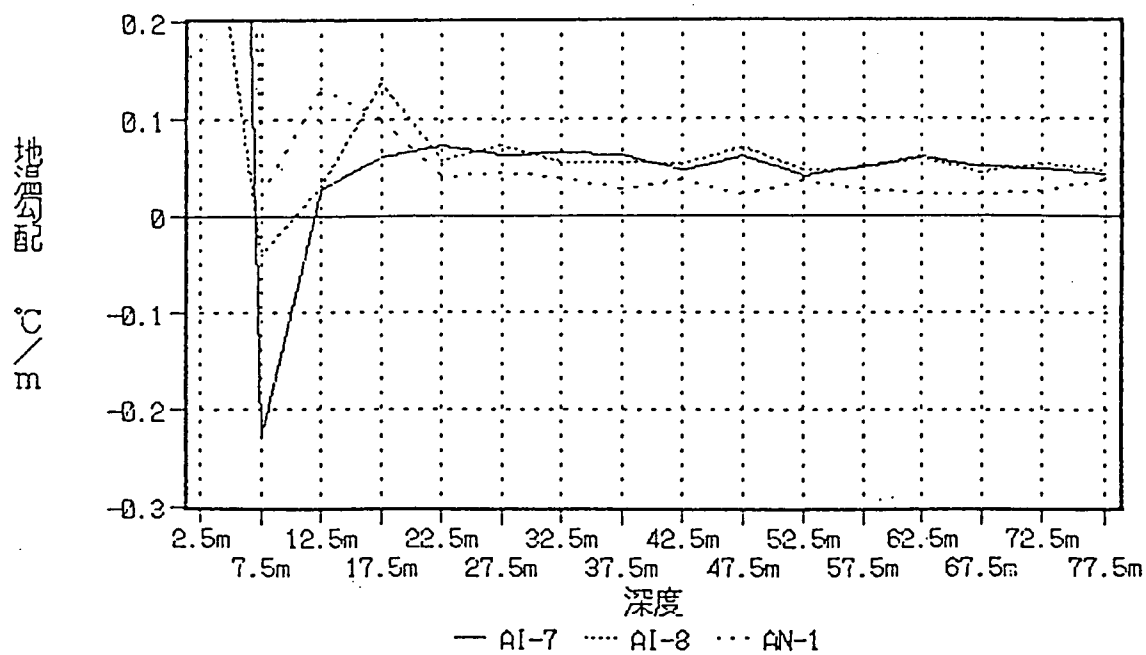


Fig. 2.12 地温勾配分布

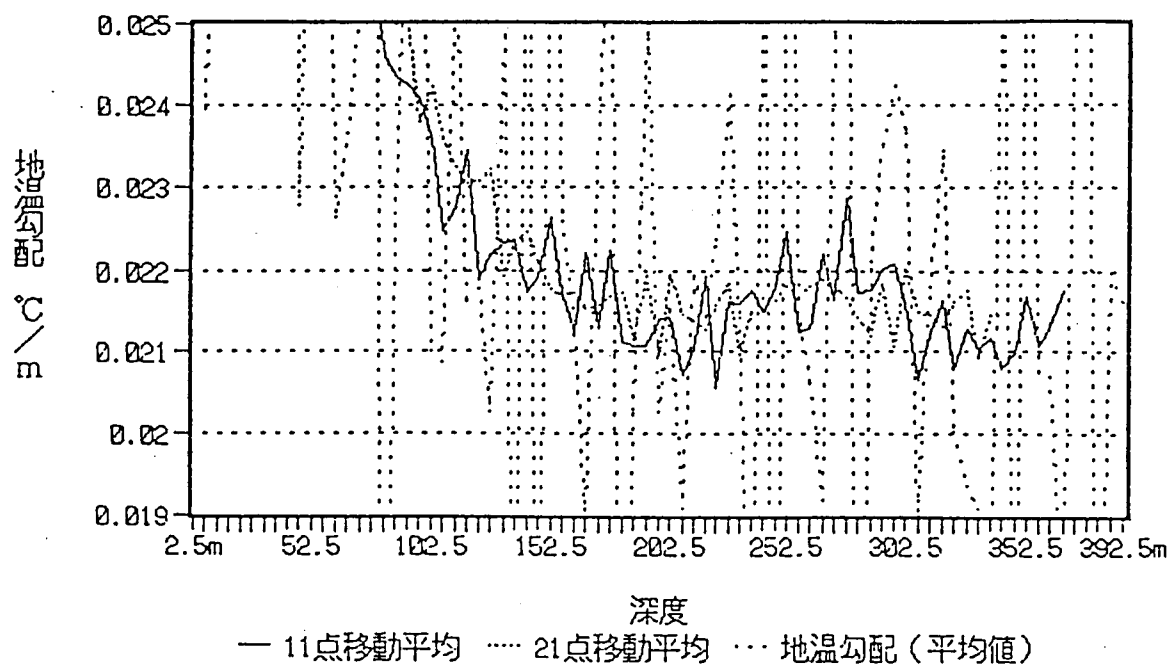


Fig. 2.13 AN-1地温勾配分布図

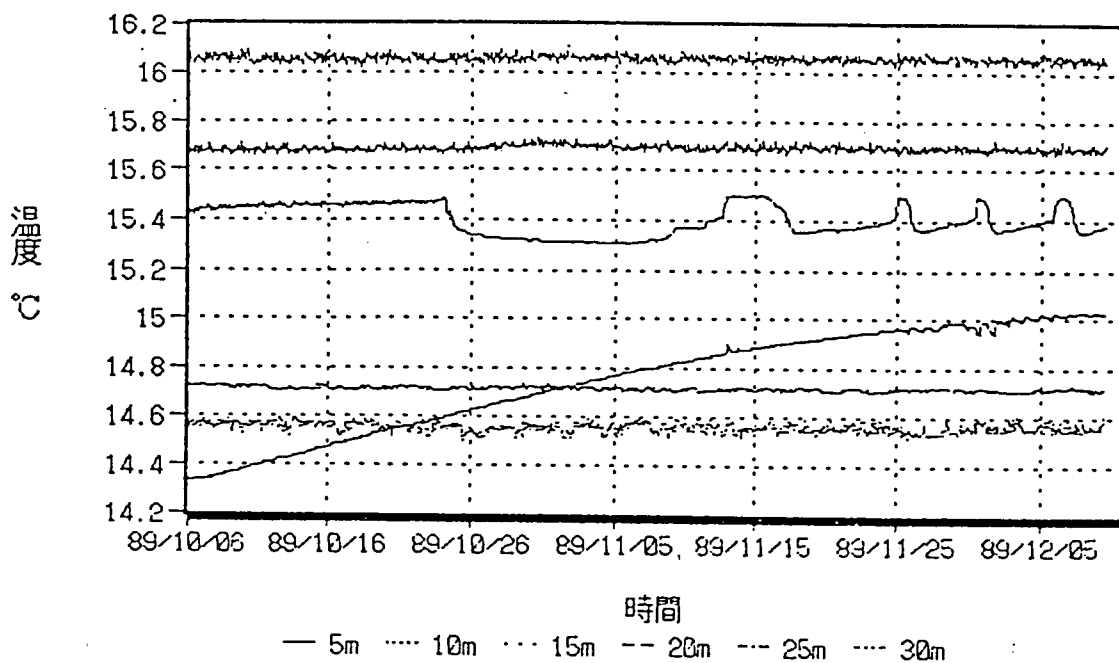


Fig. 2.14 深度別温度の経時変化 (AI-8)

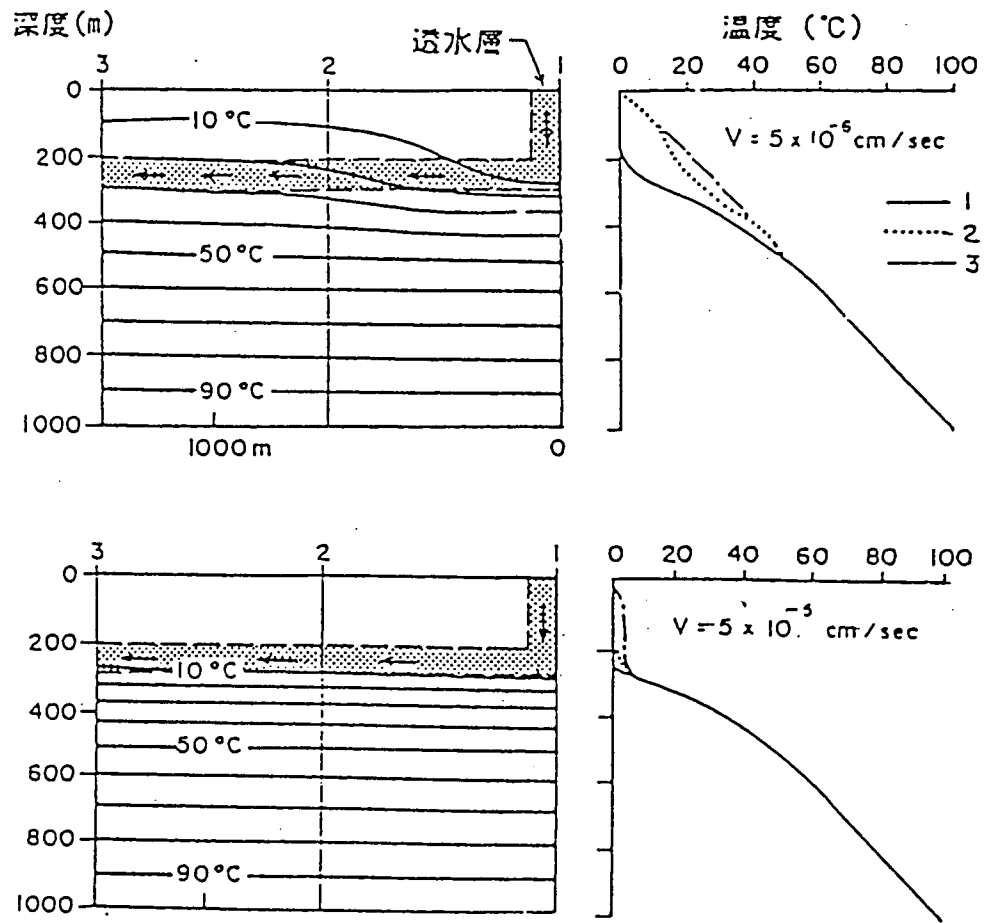


Fig. 2.15 透水層と地下温度との関係図



### 3. まとめ

平成元年度、昭和63年度に開発した探査装置を用いてデータを取得し、処理・解析した結果、極めて微弱な地温勾配異常 ( $< 0.001^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ) についてもその異常区間を明瞭に抽出できることが判明した。

我々が探査に用いようとしている熱流量  $Q$  は、定常熱伝導状態において次式をみたす。

$$Q = K \cdot \partial T / \partial Z$$

ここで  $K$  : 熱伝導率

$T$  : 温度

$Z$  : 深度

なお  $\partial T / \partial Z$  は地温勾配であり、昭和63年度に開発した探査装置で得られるのは、この値である。

Fig. 3.1に各種岩石の熱伝導率を示す。この図によると、同じ岩石においても熱伝導率にかなりのばらつきが認められる。そのため熱流量を求めようとするならば、地温勾配を求めると同時に熱伝導率の測定も行い岩盤の熱伝導率分布を求める必要がある。

現在の技術で熱伝導率を測定しようとするれば、原位置においてコアを採取し、室内においてコアの熱伝導率を測定し、これにより岩盤の熱伝導率分布を求めなければならない。しかしこれを実施するためには莫大な労力を要し、現在の人員では不可能に近いと考えられる。現在の人員で岩盤の熱伝導率分布を調べようとするならば、原位置において地温勾配を測定すると同時に熱伝導率を測定できる装置を開発しなければならない。

地温には様々な要因が影響を及ぼしており、ウラン鉱床等の発熱体による微弱な地温勾配異常を求めるためには、得られたデータにおける擾乱要因による影響を定量的に除去する必要がある。

このように、たとえ原位置における岩盤の熱伝導率測定が可能になったとしても、様々な要因が地温に影響を及ぼしており、これを定量的に解析する手法を開発することは現段階では不可能に近いと考えられる。そこで熱流量探査装置の開発は、現時点で一時中断する。

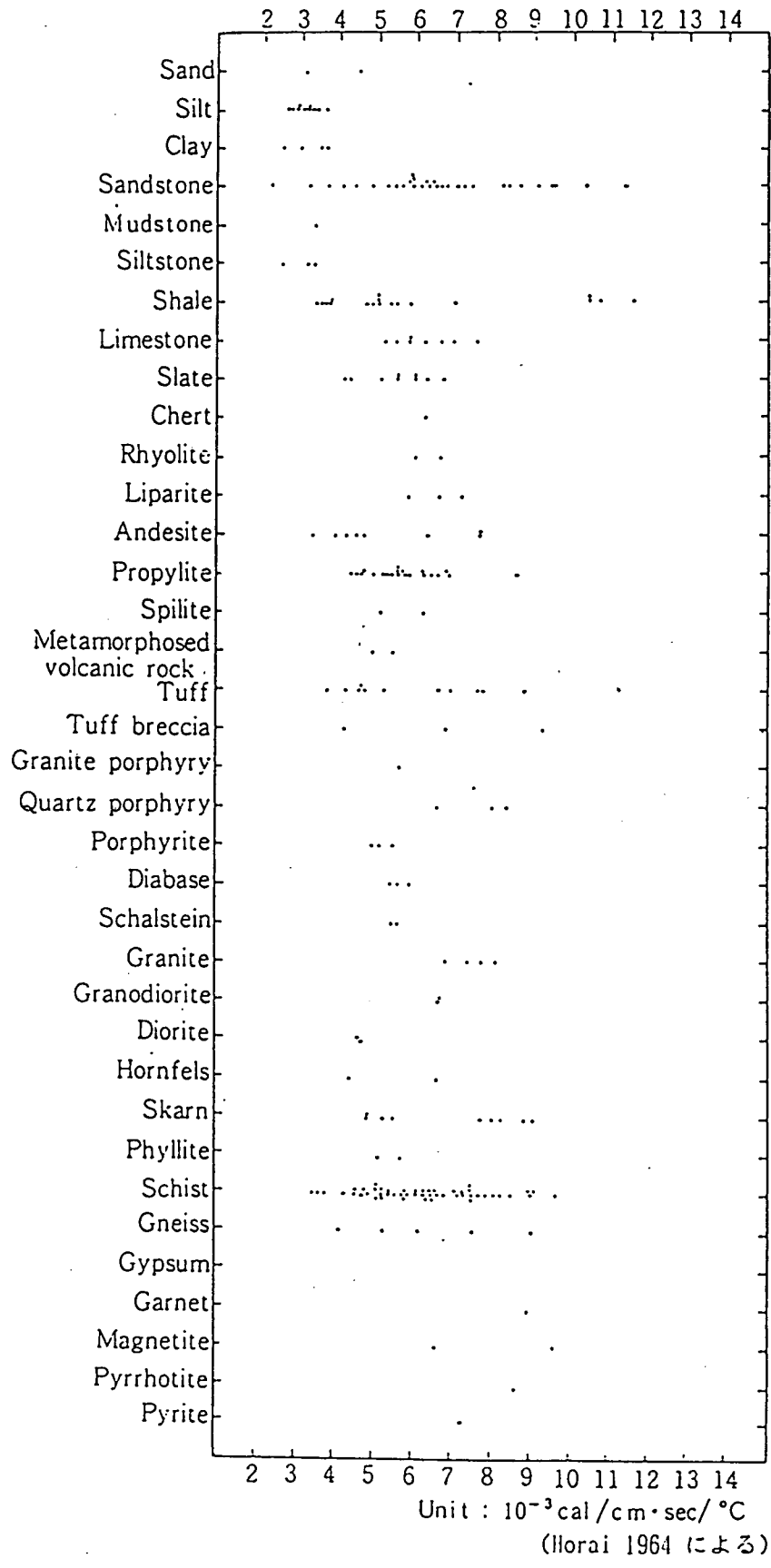


Fig. 3.1 各種岩石の熱伝導率

## 2. 採鉍技術開発

## 2.1 坑外インプレース・リーチング技術開発

担当 石川 泰  
杉原 弘造

### 1. はじめに

本技術開発の目的は、インプレース・リーチングの操業および評価に係わる技術の開発を行うことにある。平成元年度は、これまでに実施した水理試験および室内物性試験等の結果によって作成した、研究対象としている正馬様洞、インプレース試験場の水理モデルの最終的な検証を行うことと、また実際に浸出液を注入した場合に、溶出されたウランが地下水をどのように移動し回収孔に至るのか、といった物質の移動特性に係わる重要なパラメータである有効空隙率、分散係数を把握することの2点を目標とした。

本報告書では、水理モデルの検証のために実施した長期揚水試験、物質移動特性の把握のために実施したトレーサー試験について報告する。尚、試験場のボーリング孔の配置を図-1に示す。

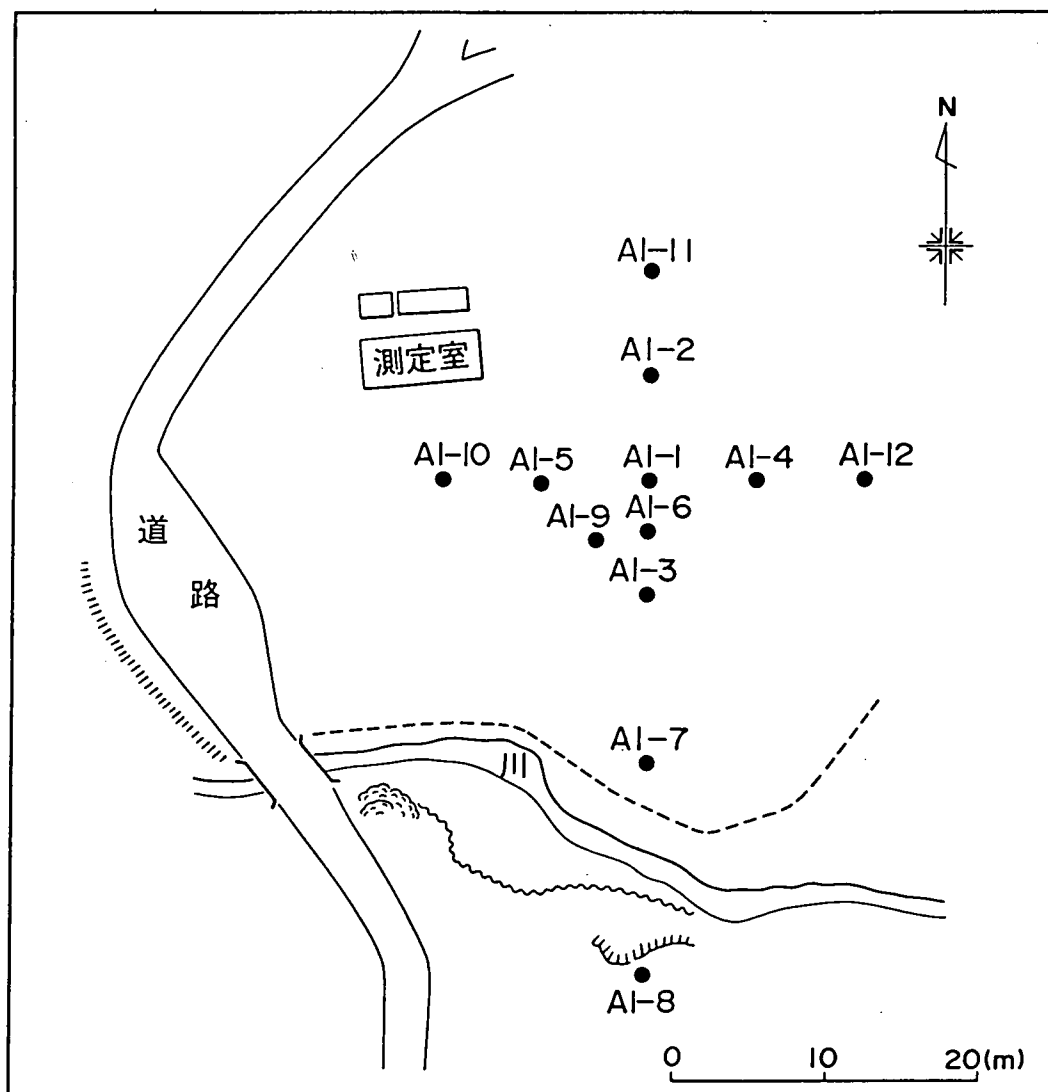


図-1 ボーリング孔配置図

## 2. 長期揚水試験

### 2-1 試験概要

試験場の中心に位置するA I - 1号孔を揚水孔とし、平成元年10月23日午前10時35分に揚水を開始し、約1週間後の10月30日午前11時に揚水を停止した。この間、揚水孔および観測孔では携帯水位計および水圧式水位変換器を用いて揚水による水位低下のモニタリングを実施した。また揚水後の水位回復（約1週間）のモニタリングも実施した。

適宜、地下水の採水を行い水質分析を実施した。また、水理モデルを検証するために、事前にモデルによる水位低下の予測シミュレーションを試み、試験終了後実測結果との比較を行った。

### 2-2 試験システム

地表から深度約45mの位置に水中ポンプを設置した揚水を行った。揚水量は地表部に設置した1次バルブと流量定値制御弁（2次バルブ）の流量調節用バルブの開閉によって調節した。図-2に揚水試験システムを示す。

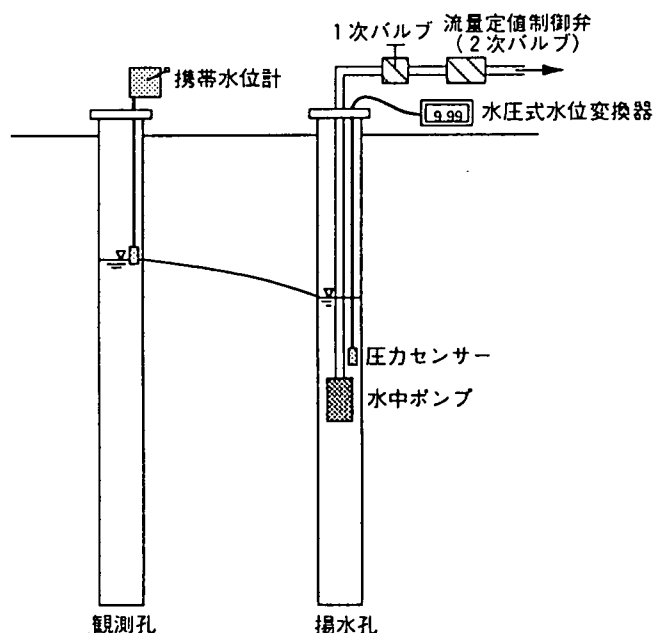


図-2 揚水試験システム模式図

### 2-3 水位モニタリング

揚水開始前に各孔の初期水位を携帯水位計を用いて測定した。水圧式水位変換器は揚水孔であるA I - 1号孔と、観測孔であるA I - 6、9号孔の計3孔に設置し、初期水位からの相対的な水位変位を

デジタル値の読取によって測定した。尚、A I - 1号孔における水位モニタリングは、水位低下が水圧式水位変換器による測定範囲（10m）を超え、かつ測定ケーブル長が不足であったため、試験途中から携帯水位計での水位モニタリングに変更した。

揚水開始日および揚水停止日の水位測定は3名で行い、携帯水位計での水位測定に2名、水圧式水位変換器による水位測定に1名という人員編成をとった。

携帯水位計での水位測定については、揚水開始直後および揚水停止直後の約2時間についてはできる限り多くの頻度で測定を行った。この測定には1孔当たり約2～4分必要であった。2時間経過後は約1時間毎に各孔で1回の測定を行った。水圧式水位変換器による水位測定（デジタル値の読取）については、揚水開始直後および揚水停止直後から20分間は1分毎に、経過20分～30分までは2分毎、経過30分～40分の間で

2回の読取（経過33分、36分）、経過40分～3時間までは10分毎、経過3時間～6時間までは30分毎に読取を行った。揚水開始日および揚水停止日以外は1日に各孔で1回ないしは2回の水位測定を行った。

#### 2-4 揚水量

流量定値制御弁によって揚水量を約7 (ℓ/min)に調整した。適宜単位時間当りの揚水を容器に受けその実量を計量器で定量し、揚水量を測定した。図-3に揚水量の変化を示す。

揚水開始から約3時間後に揚水量が下がった。これは、流量定値制御弁に付随するフロー式流量計部から地下水の漏れがみられ、

その修理、交換する際に、流量のバルブ調整が交換前後と異なったためである。全体としては、7 (ℓ/min)を基準に+0.28 (ℓ/min)、-0.34 (ℓ/min)の変化が見られた。バルブの調整後からの揚水量の変化は少なく、 $7.08 \pm 0.12$  (ℓ/min)の変動を示した。予測シミュレーションの解析条件としての揚水量は7 (ℓ/min)の値を採用した。

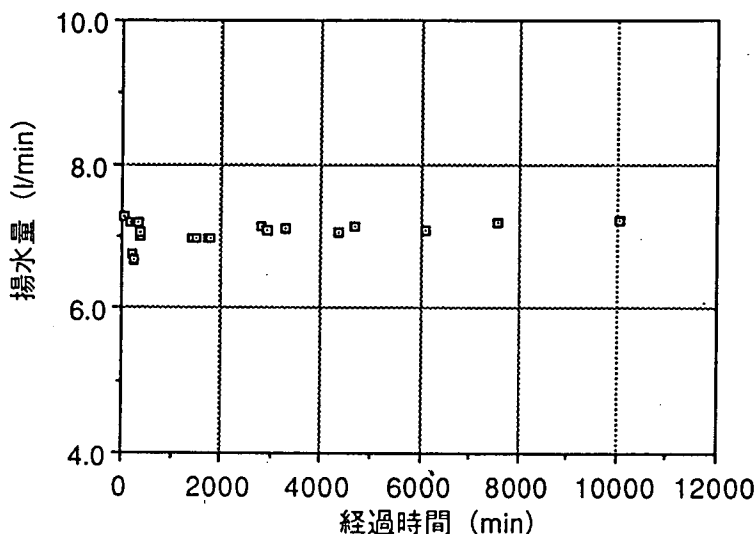


図-3 揚水量の変化

#### 2-5 揚水による水位低下

図-4 (1)~(11)に揚水による各孔における水位低下の経時変化を示す。横軸には経過時間 (min)を対数目盛に、縦軸には水位低下 (m)を算術目盛にとってある。尚、水位低下はマイナス値としてプロットしてある。また図-5 (1)~(3)に揚水開始時、揚水開始後6時間経過時、揚水終了時の各孔における水位を示す。縦軸に水位面の標高 (m)、横軸に揚水孔からの距離 (m)を算術目盛にとってある。図中では、北～南方向に位置する孔を□、西～東方向に位置する孔を×、A I - 9号孔を+で示し孔名を記入した。

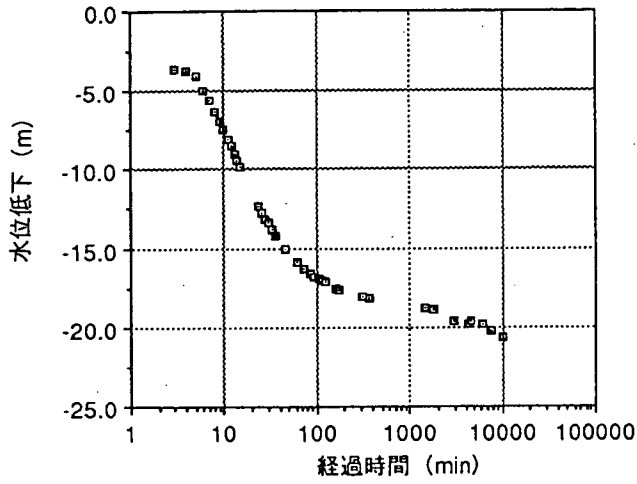


図-4(1) 揚水による水位低下  
(A1-1号孔)

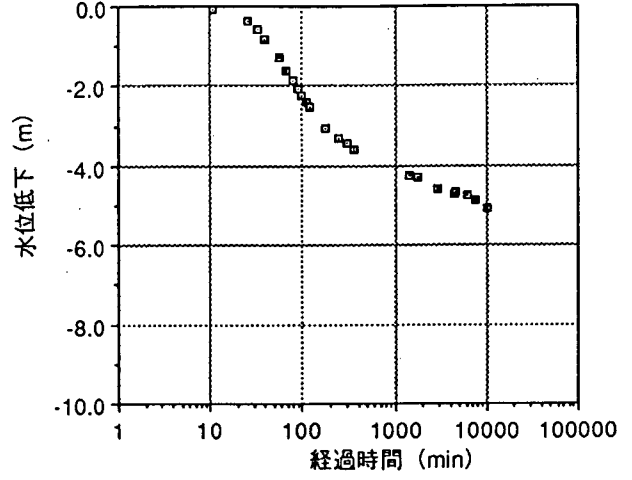


図-4(2) 揚水による水位低下  
(A1-2号孔)

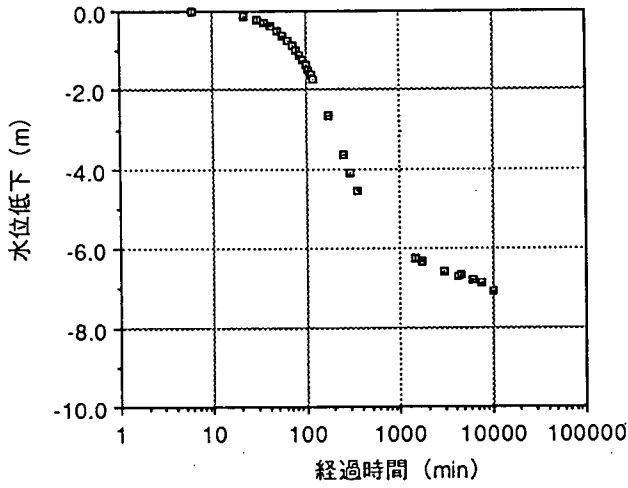


図-4(3) 揚水による水位低下  
(A1-3号孔)

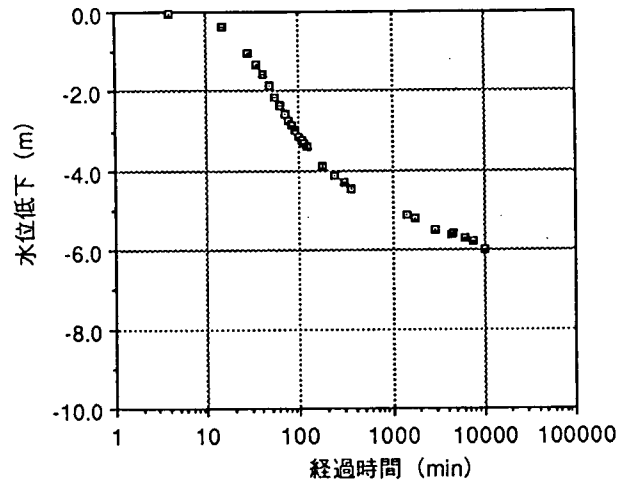


図-4(4) 揚水による水位低下  
(A1-4号孔)

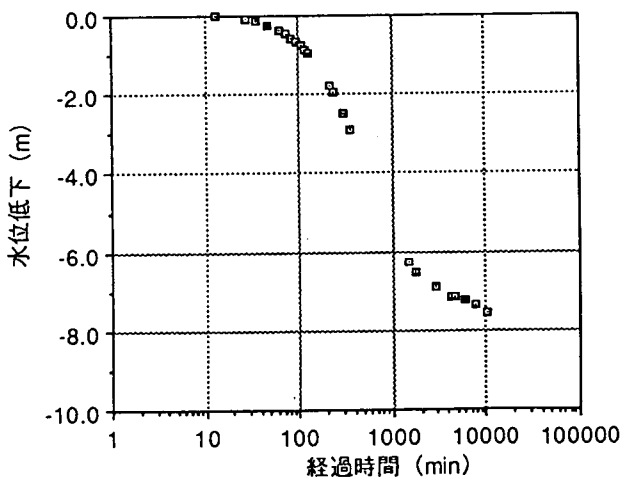


図-4(5) 揚水による水位低下  
(A1-5号孔)

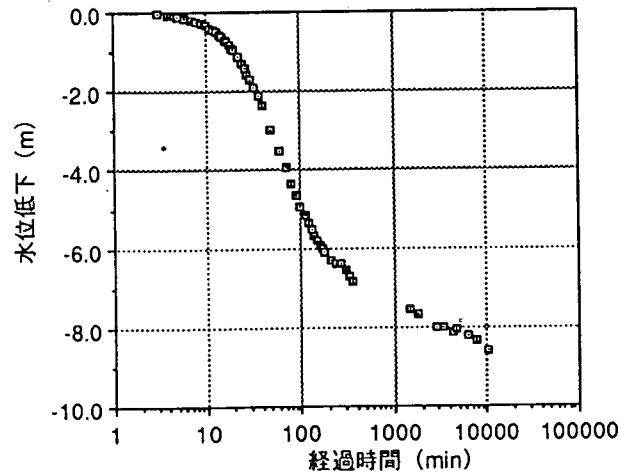


図-4(6) 揚水による水位低下  
(A1-6号孔)

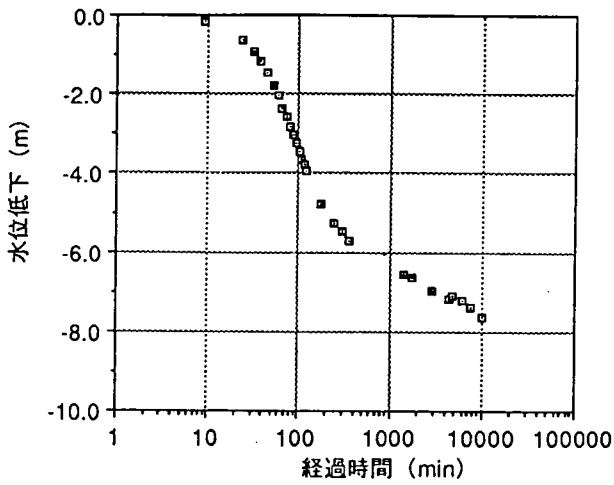


図-4(7) 揚水による水位低下  
(A I - 7号孔)

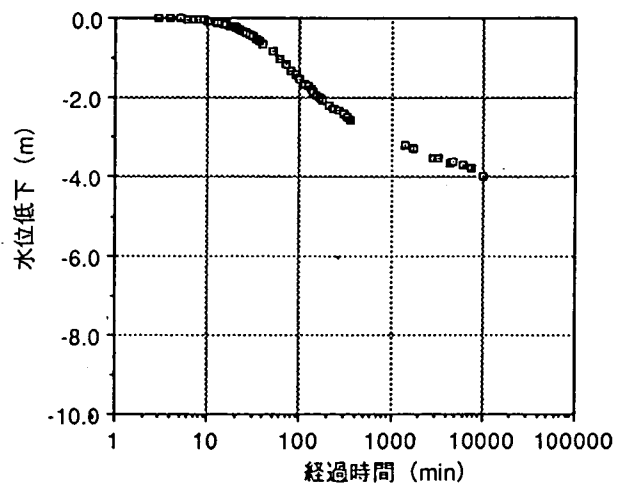


図-4(8) 揚水による水位低下  
(A I - 9号孔)

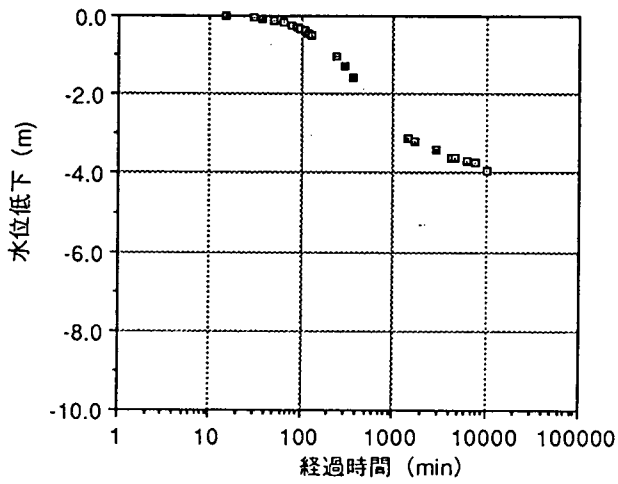


図-4(9) 揚水による水位低下  
(A I - 10号孔)

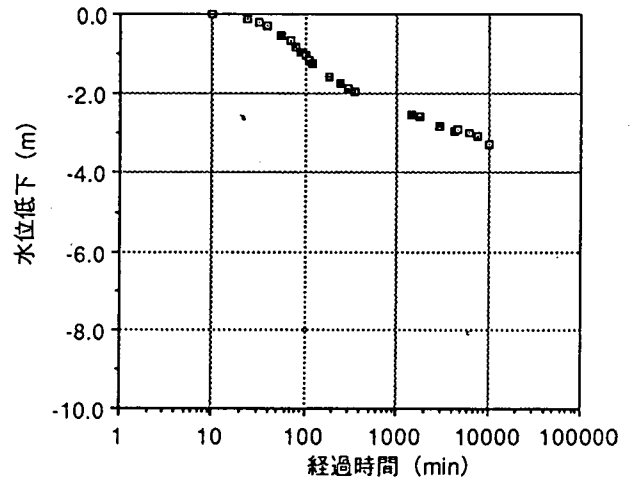


図-4(10) 揚水による水位低下  
(A I - 11号孔)

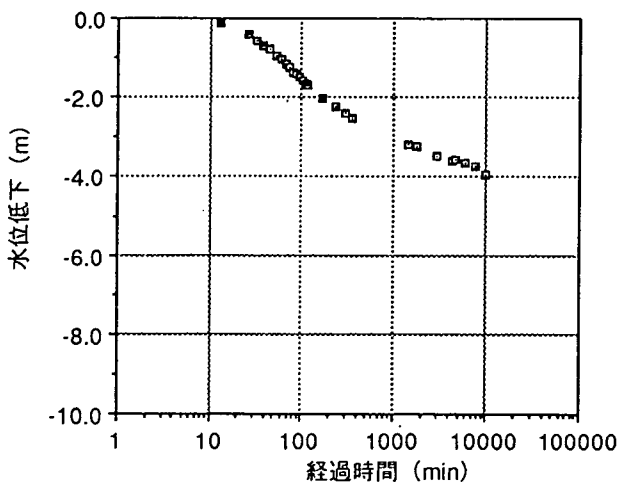


図-4(11) 揚水による水位低下  
(A I - 12号孔)

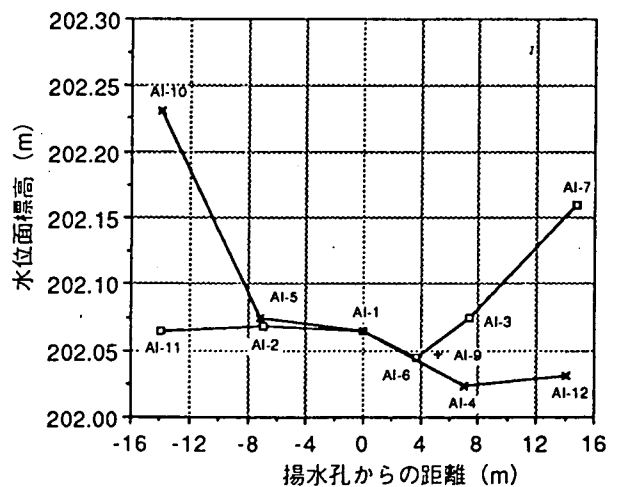


図-5(1) 水位面 (揚水開始時)



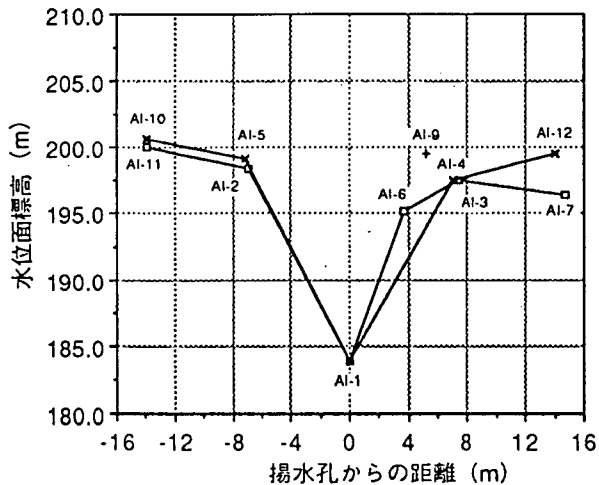


図-5(2) 水位面 (6時間経過時)

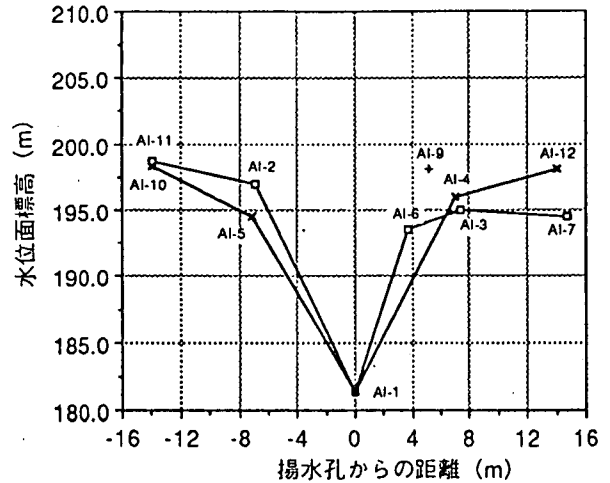


図-5(3) 水位面 (揚水終了時)

揚水による各孔での水位低下は、揚水量が約7 (ℓ/min)という条件のもとで、また1週間の揚水時間では定常状態は現れず、水位低下は徐々に進行している。水位低下曲線は各孔とも大略同じ形を示しており、片対数にプロットした場合には、揚水開始直後の緩やかなカーブの状態、その後の非定常の直線部分、定常状態に移行しつつある直線部分の3つに分けられる。

観測孔での揚水による影響(水位低下)の差は、基本的に揚水孔からの距離によって決定されるが、揚水孔から約7m離れているAI-2, 3, 4, 5号孔の4孔を比較すると、揚水孔を基準にして北および東方向に位置するAI-2, 4号孔は、南および西方向に位置するAI-3, 5号孔に比べその影響が早い時期に現われている。しかし、1週間後の水位低下の大きさでみるとAI-3, 5号孔の方が1m以上大きな値を示している。

揚水孔から約14m離れたAI-7, 10, 11, 12号孔の4孔において、まずAI-10, 11, 12号孔の3孔を比較した場合、影響の早さは約7m離れた位置にある孔と同じ傾向を示すが、水位低下の大きさは各孔とも余り差がない。AI-7号孔については特異な結果を示している。AI-3号孔と比較した場合、影響の早さおよび水位低下の大きさもAI-7号孔がAI-3号孔よりも上回っており、揚水孔からの距離の関係が全くみられない。このことは、この区間(AI-3号孔~AI-7号孔)の透水性が非常に良好であるか、あるいは揚水孔と通じる水路が存在することを示しているものとも考えられる。また、AI-9号孔もこの関係から外れた結果(余り揚水の影響を受けていない。過去の試験から自孔の揚水によっても他孔に影響を与えないことも判明している。)を示している。

初期状態での水位面は、西から東に向けて、あるいは南から北に向けて水位面が下降しているのが特徴である。特に、AI-10, 7号孔は他孔と比較し約10~20 (cm) 水位が高い。単純に自然での地下水がその水頭差によって流れているものと考えれば、その向きは南西から北東、もしくは西から東に向いているものと推測される。揚水開始から約6時間経過した水位面と揚水終了時の水位面との両者を比較した場合、特に

A I - 3、5号孔における大きな水位低下が見られ、それは揚水終了時に至るまでの各孔での水位低下状況とは異なった動きを示す。結果として、A I - 5 ~ 10号孔の水位面勾配は大きくなり、A I - 3 ~ 6号孔、A I - 3 ~ 7号孔のそれは小さくなっている。反してA I - 11 ~ 2号孔およびA I - 4 ~ 12号孔の水位面勾配は両者ともほぼ等しい。水位面勾配が大きい程その区間の透水性が低いことを示すが、この観点から観測孔間の水位面勾配から透水性を判断すれば、揚水孔を基準にして西方向に透水性が悪く、南方向に透水性が良いと考えられる。

### 2-6 揚水後の水位回復

図 - 6 (1) ~ (11) に揚水後の水位の回復状態を示す。横軸に揚水停止後の経過時間 (min) を対数目盛に、縦軸に水位回復の量 (m) を算術目盛にとってある。

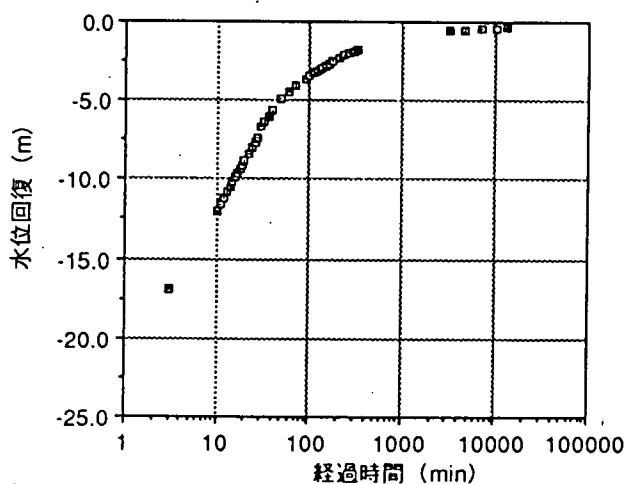


図 - 6 (1) 揚水後の水位回復  
(A I - 1号孔)

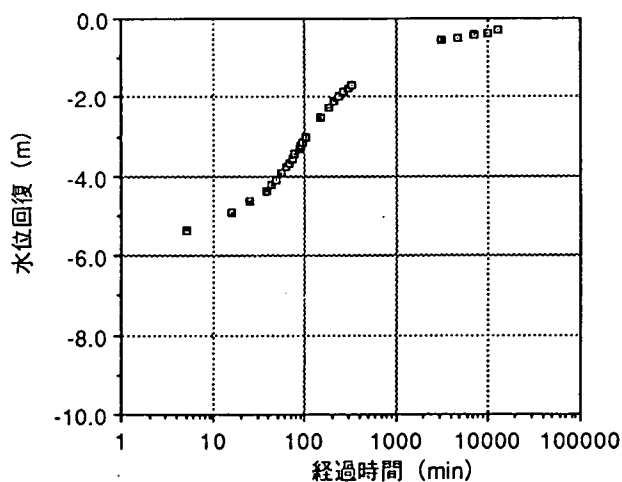


図 - 6 (2) 揚水後の水位回復  
(A I - 2号孔)

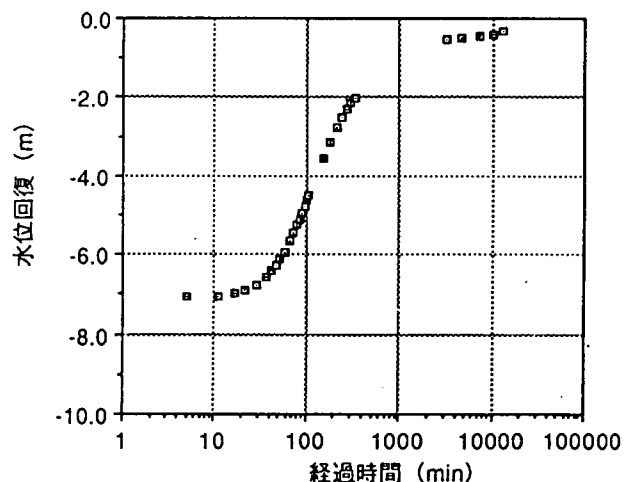


図 - 6 (3) 揚水後の水位回復  
(A I - 3号孔)

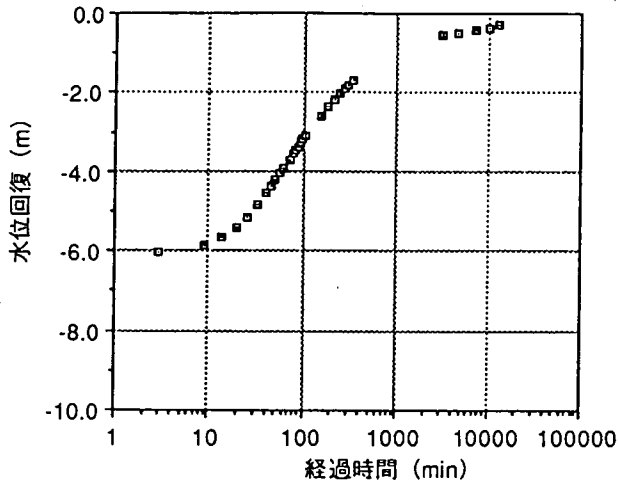


図-6(4) 揚水後の水位回復  
(A1-4号孔)

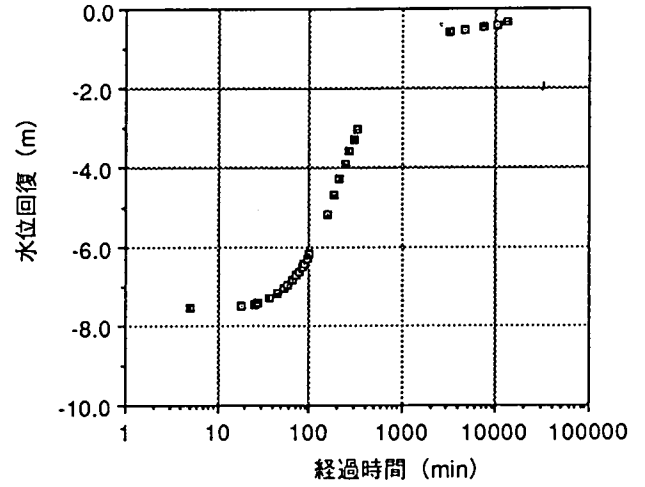


図-6(5) 揚水後の水位回復  
(A1-5号孔)

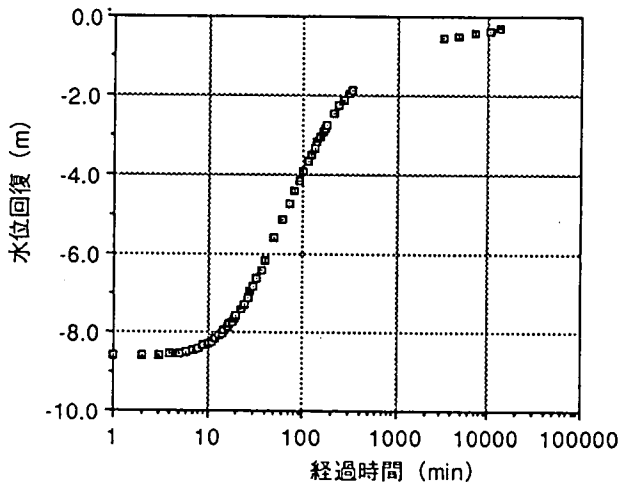


図-6(6) 揚水後の水位回復  
(A1-6号孔)

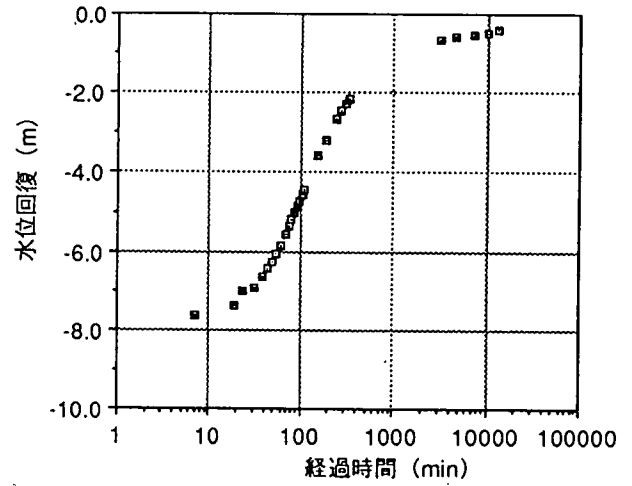


図-6(7) 揚水後の水位回復  
(A1-7号孔)

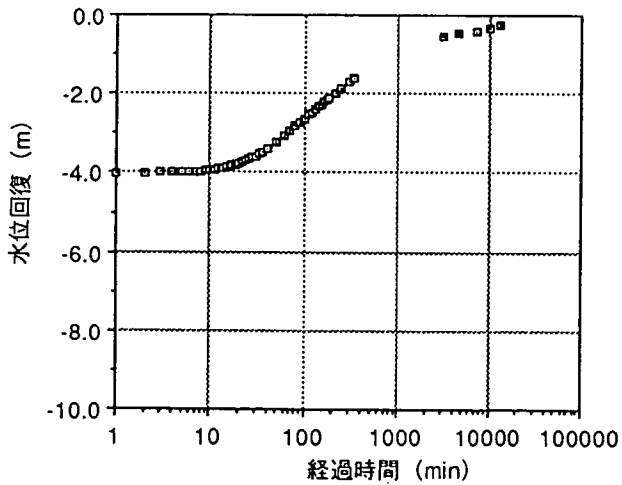


図-6(8) 揚水後の水位回復  
(A1-9号孔)

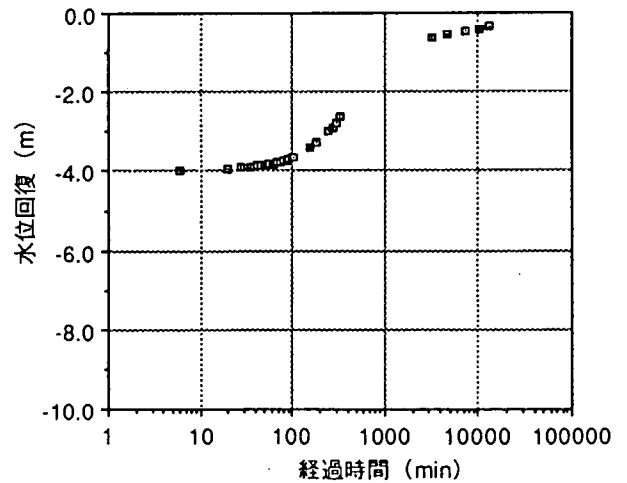


図-6(9) 揚水後の水位回復  
(A1-10号孔)

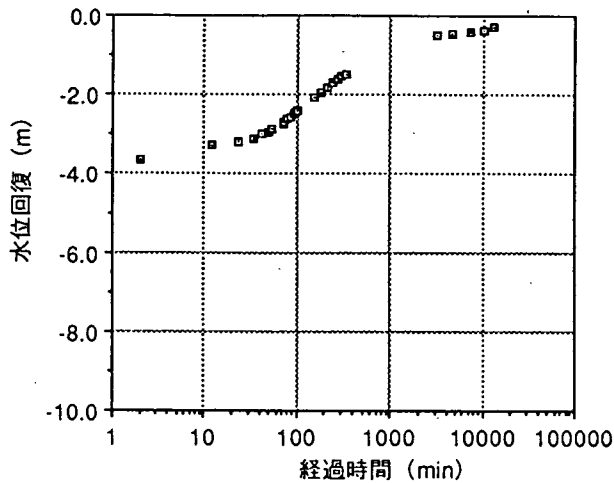


図 - 6 (10) 揚水後の水位回復  
(A I - 11号孔)

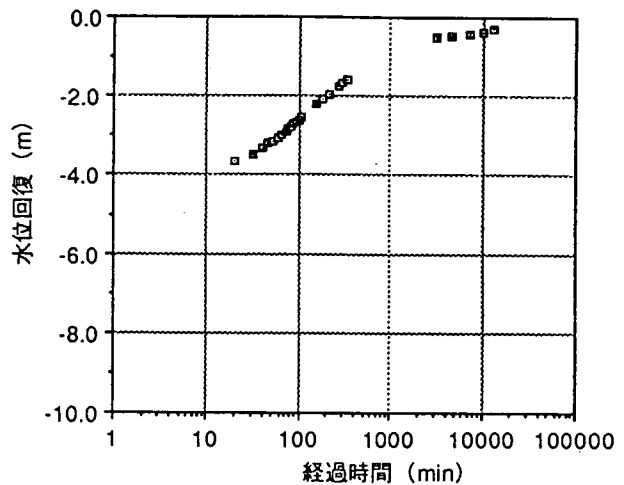


図 - 6 (11) 揚水後の水位回復  
(A I - 12号孔)

水位回復曲線も水位低下曲線と同様に、最初の緩やかなカーブ、それに続く直線部分、初期水位に近づく直線部分との3つに分けられる。回復は1週間後もなお継続していることが判る。実際は、試験期間中における自然状態での水位の変動も受けており、初期状態に完全には戻らないと思われる。

揚水孔を除いた各孔では、揚水停止後も揚水の影響を受けており、数分間は水位低下が進行している。今回の測定人員による携帯水位計測定では適切な頻度での測定が困難であったため、その水位低下が終焉するポイントをうまく掴むことはできなかったが、変換器測定であるA I - 6、9号孔の両孔の測定結果によれば、揚水停止後に受ける揚水の影響は約2分間程度続いている。

### 2-7 透水量係数の算出

揚水による水位低下および揚水後の水位回復とそれぞれの経過時間との関係から、前者はジェイコブの直線法、後者は回復式を適用し、それぞれ片対数にプロットされた曲線の直線部を検定し、対数1サイクル当りの水位変化量を求め、それぞれの適用式から透水量係数を算出した。透水量係数の算出値を表-1にまとめる。図-7にこれまでに実施した単孔水理試験結果との比較を示す。横軸に孔名、縦軸に透水量係数 ( $m^2/sec$ ) を対数目盛にとってある。

揚水試験と水位回復試験からそれぞれ得られた透水量係

表-1 算出値 (ジェイコブの直線式、回復式)

孔名	揚水試験 (Jacob法)		回復試験 (回復式)	
	ds (m)	T (m <sup>2</sup> /sec)	ds' (m)	T (m <sup>2</sup> /sec)
A I - 1	12.45	1.71E-6	10.94	1.95E-6
A I - 2	3.73	5.72E-6	3.32	6.43E-6
A I - 3	5.95	3.59E-6	5.90	3.62E-6
A I - 4	4.08	5.23E-6	3.51	6.08E-6
A I - 5	5.68	3.76E-6	6.71	3.18E-6
A I - 6	6.33	3.37E-6	5.84	3.66E-6
A I - 7	5.96	3.58E-6	5.63	3.79E-6
A I - 9	2.25	9.49E-6	2.09	1.02E-5
A I - 10	2.96	7.21E-6	2.71	7.88E-6
A I - 11	2.14	9.98E-6	1.94	1.10E-5
A I - 12	2.21	9.66E-6	2.01	1.06E-5

数には差異はない。単孔水理試験結果と比較した場合算出値は各孔とも大きな値を示している。但し、A I - 1号孔は今回も単孔水理試験となるため過去の結果と比較しても同じような値を示している。影響試験によって得られた値は、水理モデルに採用した5倍した透水量係数に近いものとなっている。しかし、モデルで用いた透水量係数分布の形状とは異なり、かなり均質に近い分布が想定され、単孔水理試験結果で得られた傾向はみられない。

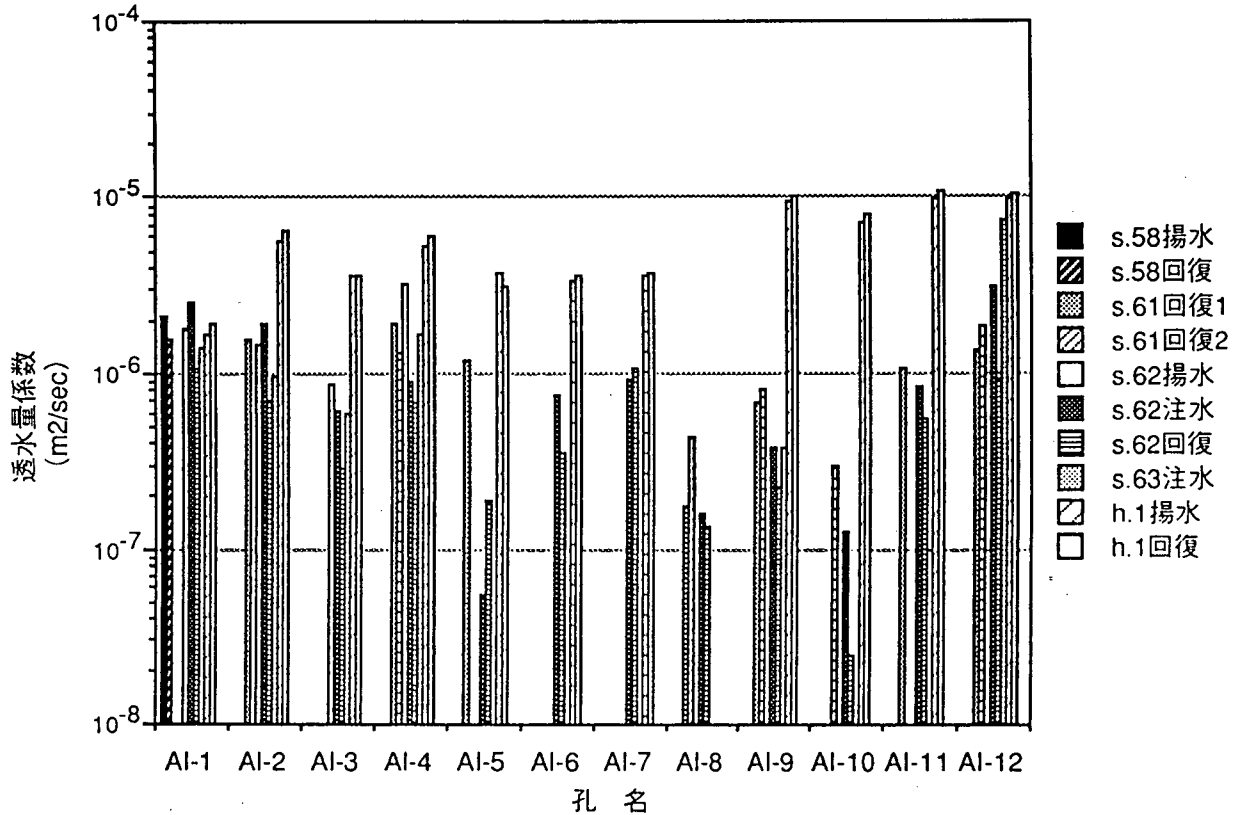


図-7 単孔水理試験結果との比較  
(h.1揚水およびh.1回復が今回の結果)

2-8 予測シミュレーション

昭和63年度に作成した水理モデルを用い、コンピュータによって揚水による水位低下の予測計算を行った。水理モデルの概要を付録1に載せる。

図-8(1)~(11)に実測値と計算値との比較を示す。横軸に経過時間 (min)を対数目盛に、縦軸に水位低下 (m)を算術目盛にとってある。図中では計算値を実線、実測値を□付の実線で示してある。

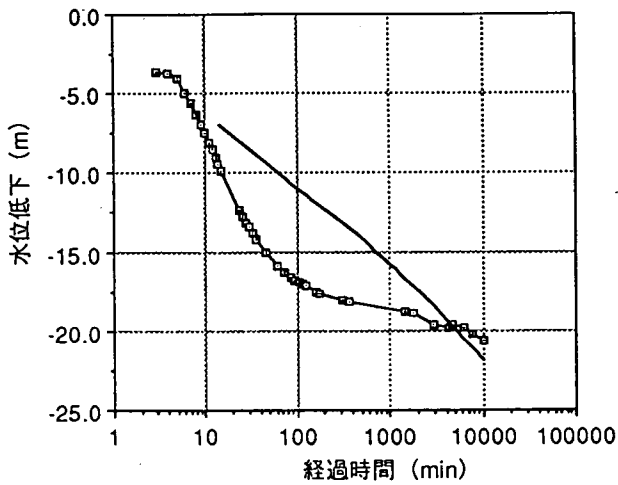


図-8(1) 実測値と計算値との比較  
(A1-1号孔)

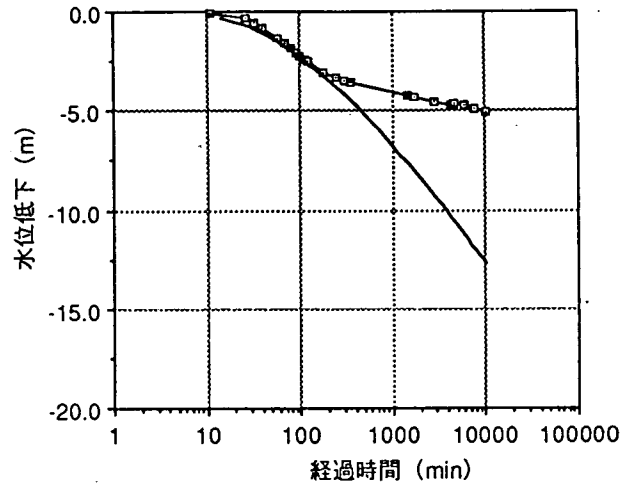


図-8(2) 実測値と計算値との比較  
(A1-2号孔)

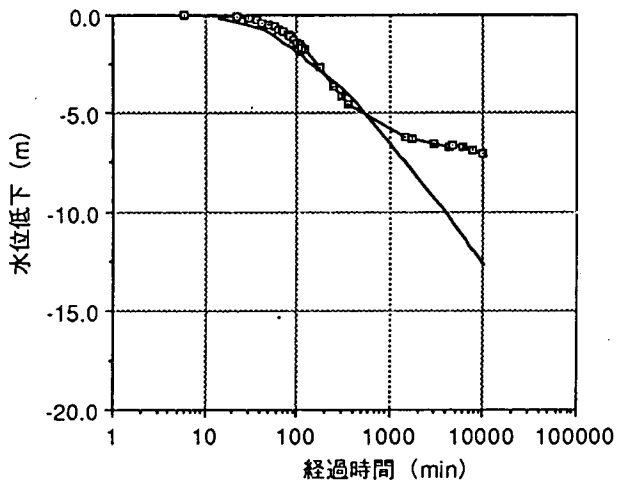


図-8(3) 実測値と計算値との比較  
(A1-3号孔)

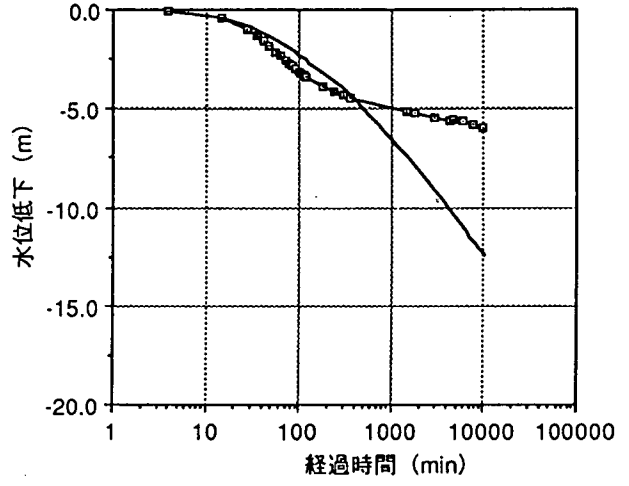


図-8(4) 実測値と計算値との比較  
(A1-4号孔)

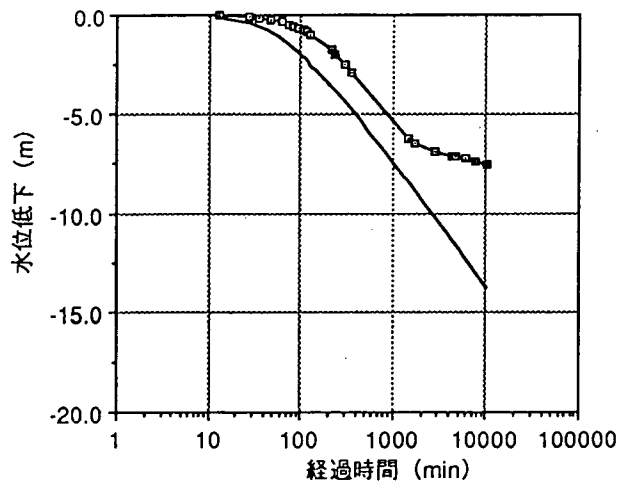


図-8(5) 実測値と計算値との比較  
(A1-5号孔)

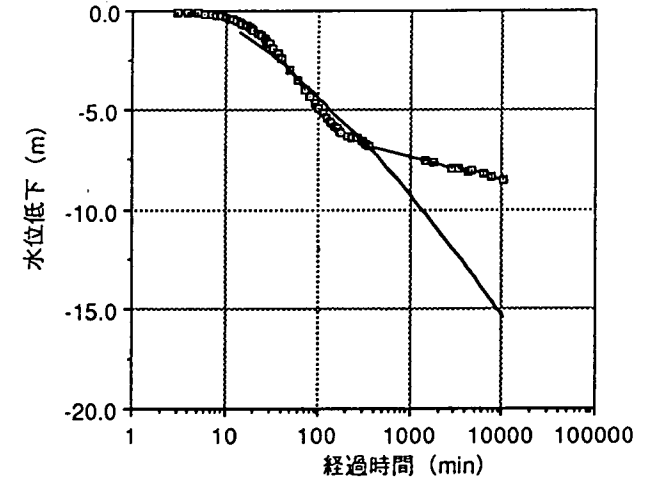


図-8(6) 実測値と計算値との比較  
(A1-6号孔)

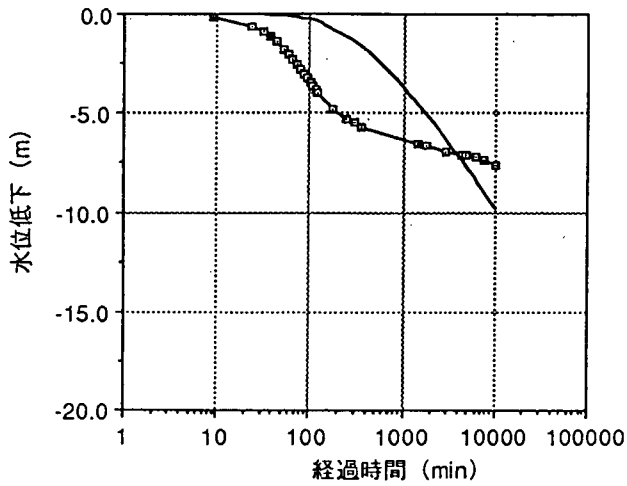


図-8(7) 実測値と計算値との比較  
(A1-7号孔)

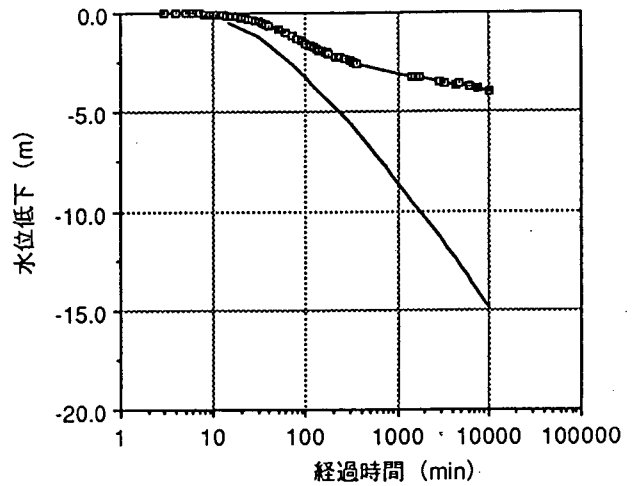


図-8(8) 実測値と計算値との比較  
(A1-9号孔)

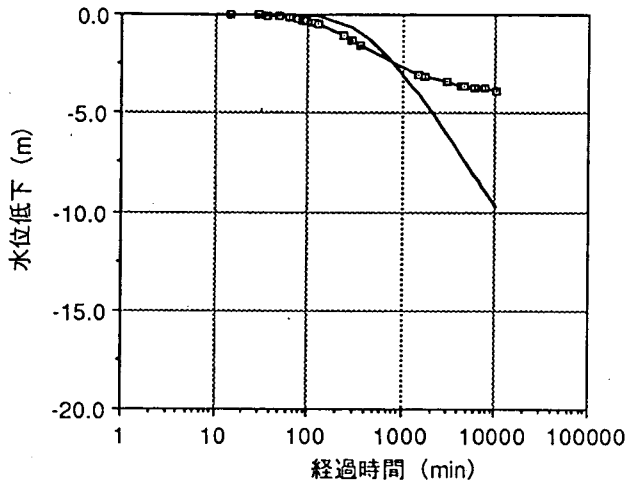


図-8(9) 実測値と計算値との比較  
(A1-10号孔)

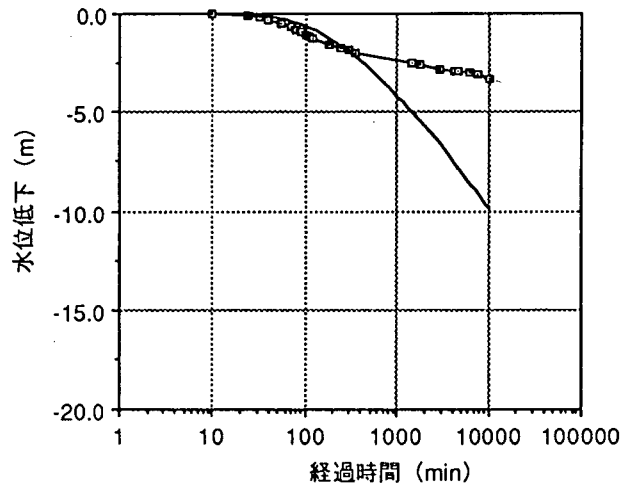


図-8(10) 実測値と計算値との比較  
(A1-11号孔)

解析の時間間隔は、0.01~0.1(日)は0.01(日)刻み、0.1~1.0(日)は0.1(日)刻み、1.0~7.0(日)は0.5(日)刻みとし、計31ポイントで各孔での水位変化を算出した。その値を結んだ曲線からは、実測値で見られるような定常状態に移行しつつある直線部分はなく、揚水による水位低下は際限なく進行することが判る。

長期間に渡る揚水による水位低下を定量することは、所有するプログラムの性質(非定常を扱い、境界が不透水

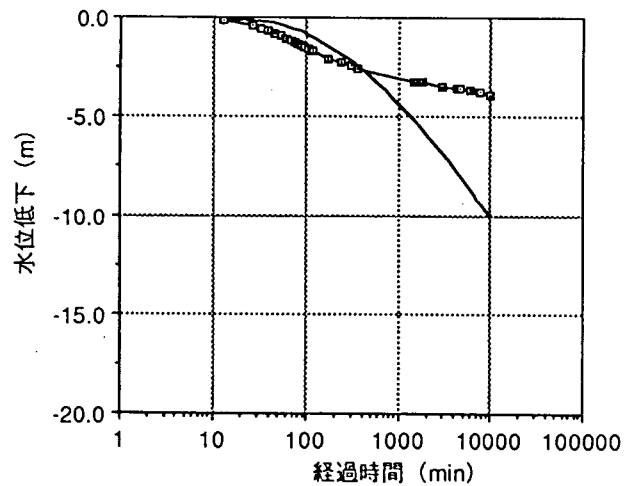


図-8(11) 実測値と計算値との比較  
(A1-12号孔)

境界に限られる。) からして、現状としては非常に困難である。但し、定常状態に移行する時点までの予測はある程度できる。そこで、図-9に揚水開始から約6時間後の実測値と計算値との比較を示すものとする。横軸に孔名、縦軸に水位低下(m)を+の値でとった。6時間後〔0.25(日)〕の値は計算されていないので、0.2(日)と0.3(日)の2ポイントでの計算値を算術平均した値を採用した。結果としては、AI-1、5、7、9号孔以外の7孔ではある程度一致している。

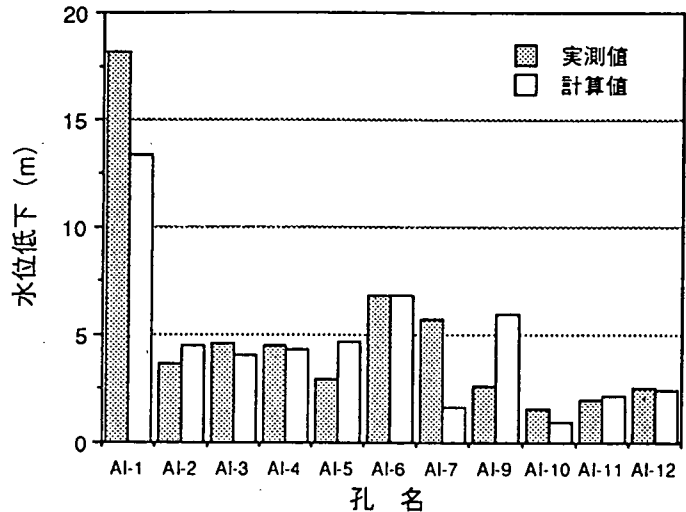


図-9 比較(約6時間後)

## 2-9 水質

揚水によって周辺の地下水が揚水孔に集中し地表に排出される。定期的に揚水された地下水を採水しその水質の変化を調べることによって、また周辺地域の水質と比較することによって、試験場地域の地下水がどういう経路を辿ってきたものであるかある程度推測することができる。

今回、本試験に先立ち小流量〔約1.4(l/min)〕による揚水を行った。揚水孔は本試験と同様AI-1号孔とした。揚水試験としては非常に流量の変動が激しく、この変動が水位低下に大きく影響し解析できうる良好なデータの取得ができなかった。しかし、採水を行い水質分析の結果が得られており、本試験での結果と併せて検討した。

水質分析の結果はヘキサダイアグラムで表わし、図-10(1)~(3)に示す。(1)および(2)は事前の揚水から得られた結果、(3)が本試験で得られた結果である。また、周辺地域地下水のヘキサダイアグラムを図-11(1)~(2)に示す。ここで、(1)は同試験場の各孔(昭和62年度揚水時の採水による結果)におけるものである。(2)が周辺地域の結果である。事前の揚水による水質の変化は、揚水開始日に採取したものと、揚水開始から1日経過後のものとは比べると、ヘキサダイアグラムに示される形状が完全に異なっている。揚水日のものは、孔内に滞留していた地下水の水質を呈していると考えられる。特徴としては、炭酸イオンが殆ど無く、フッ素イオンおよびナトリウムイオンが徐々に多くなる状態が判る。1日経過後からは、フッ素イオンがなくなり、炭酸イオンが徐々に増えていく状態がみられる。また、途中で再びフッ素イオンが現れる。

本試験期間中の水質の変化はみられない。ヘキサダイアグラムの形は事前の揚水による最終的な形状を示すものである。

同試験場の各孔における水質は、かなり狭い範囲であるのかかわらず全く同形状



というわけではないが、基本的には似かよった形状を示す。(A I - 8号孔は極端に異なる。) 周辺地域の土岐夾炭累層中の地下水の水質分析結果と比較しても顕著な違いは見られない。試験場付近の地下水は大略坑内水と同じグループに属する地下水と判断できる。

図-10 (1) ヘキサダイアグラム (A1-1号孔：事前揚水)

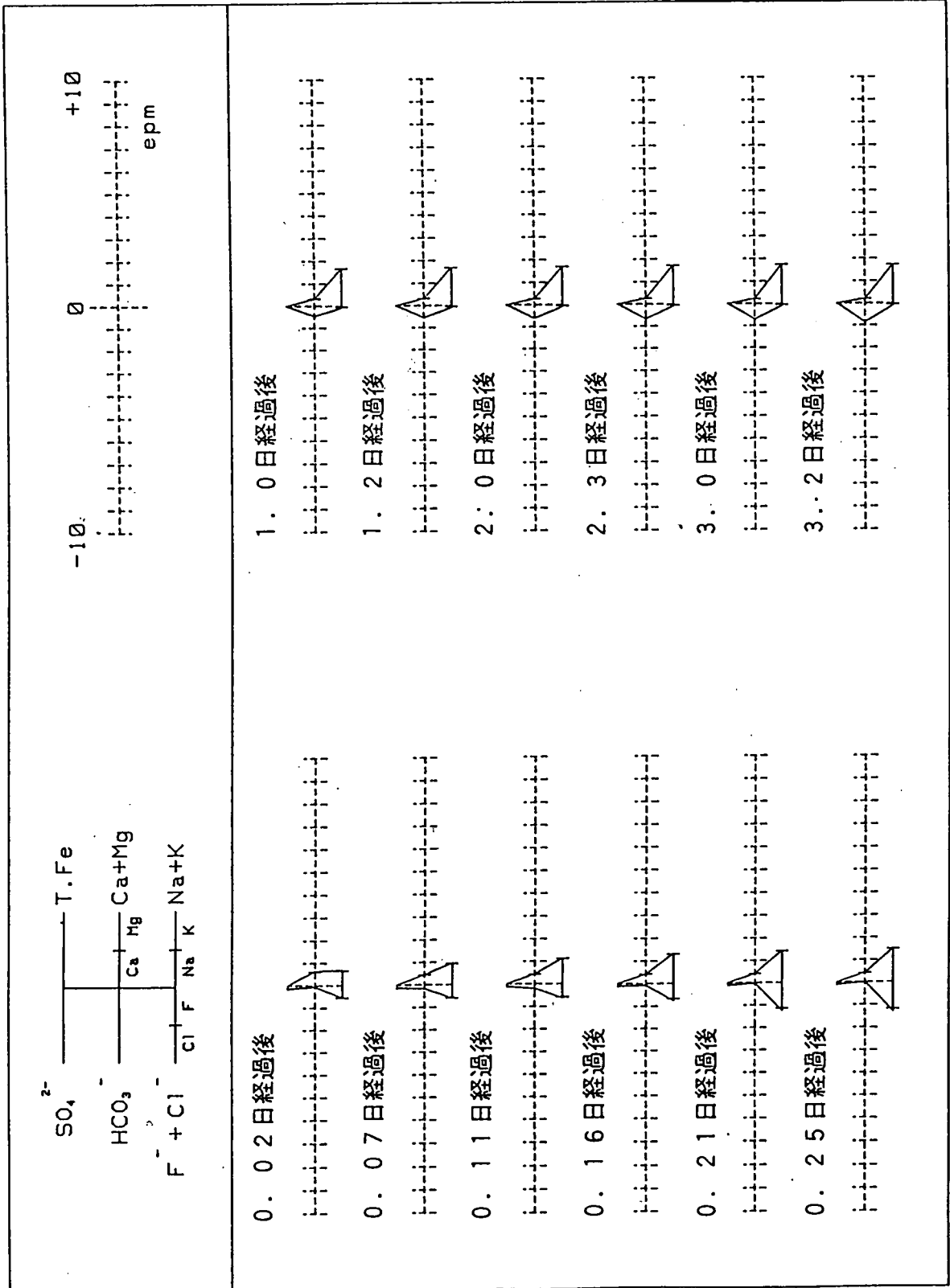


図-110 (2) ヘキサダイアグラム (A1-1号孔: 事前揚水)

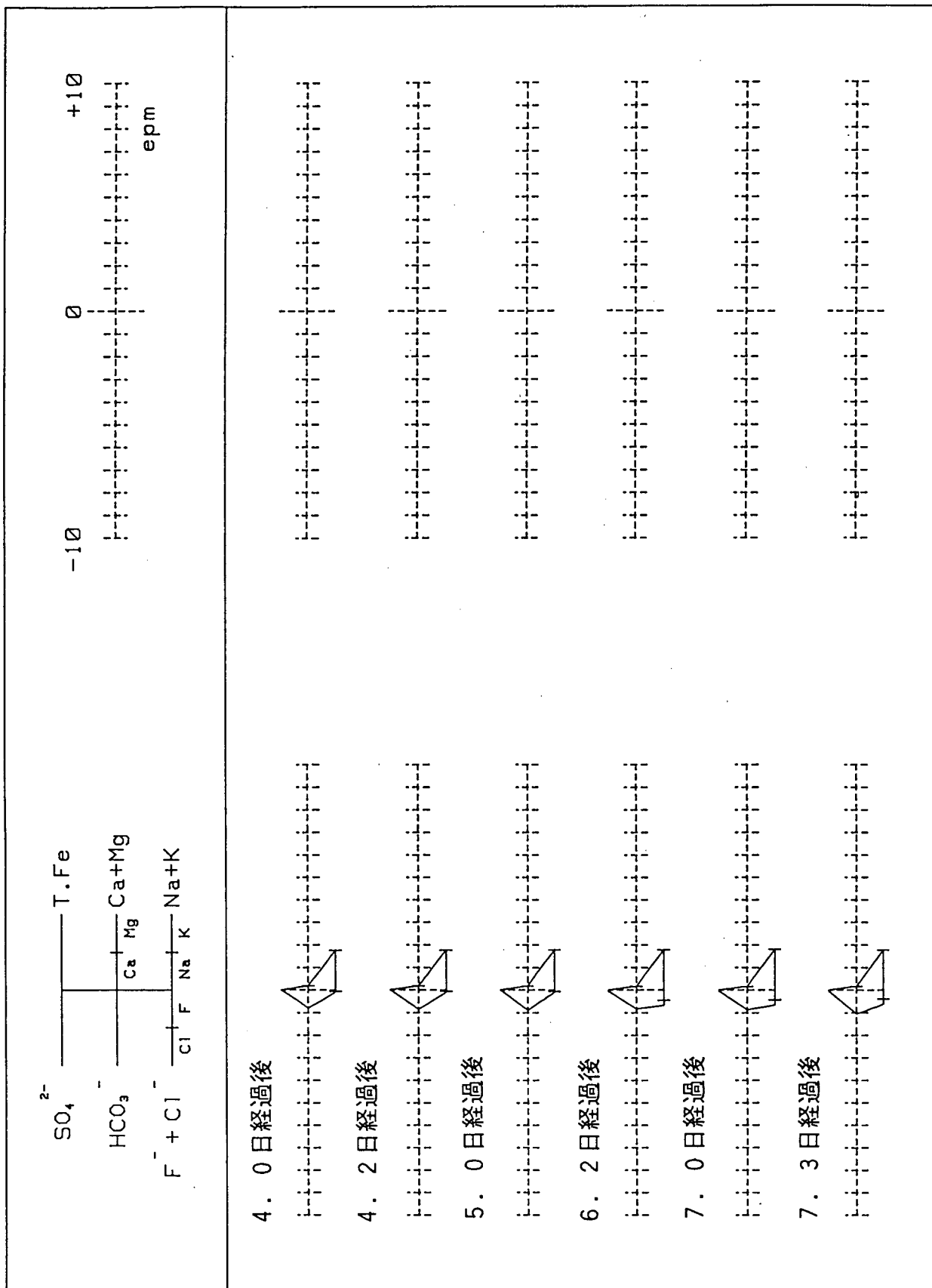


図-10 (3) ヘキサダイアグラム (A1-1号孔: 本試験)

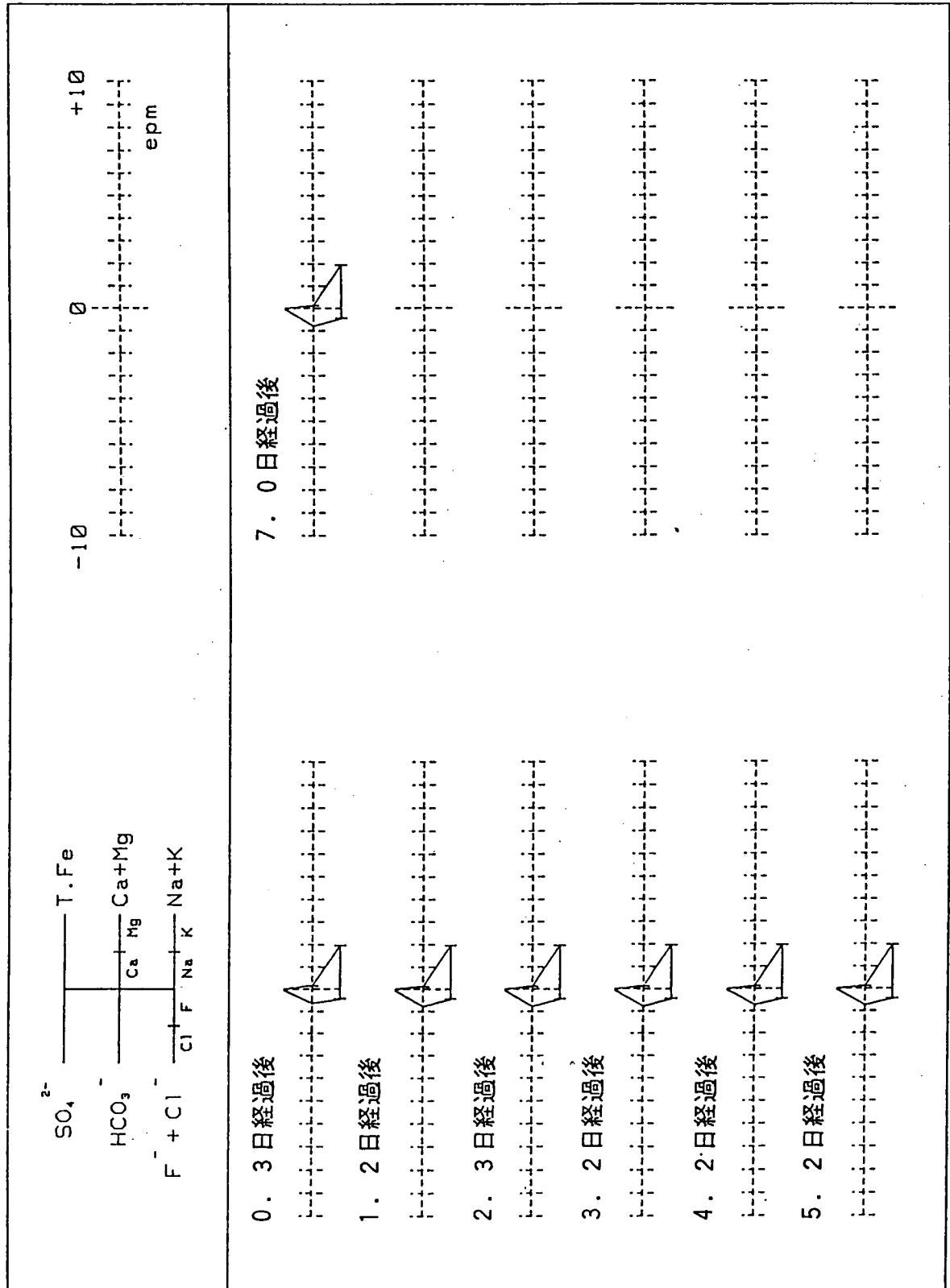


図-11 (1) ヘキサダイアグラム (昭和62年度採水)

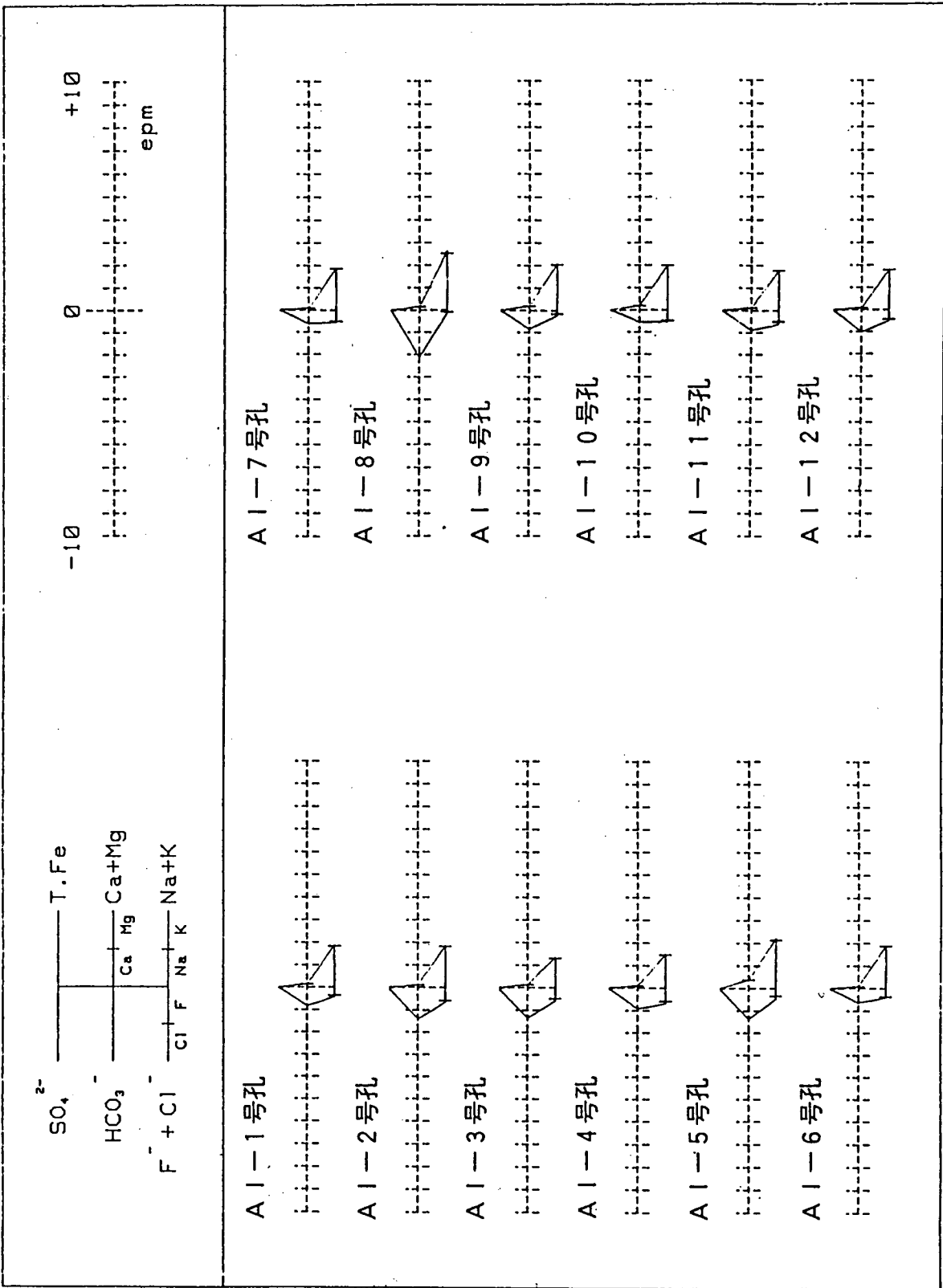
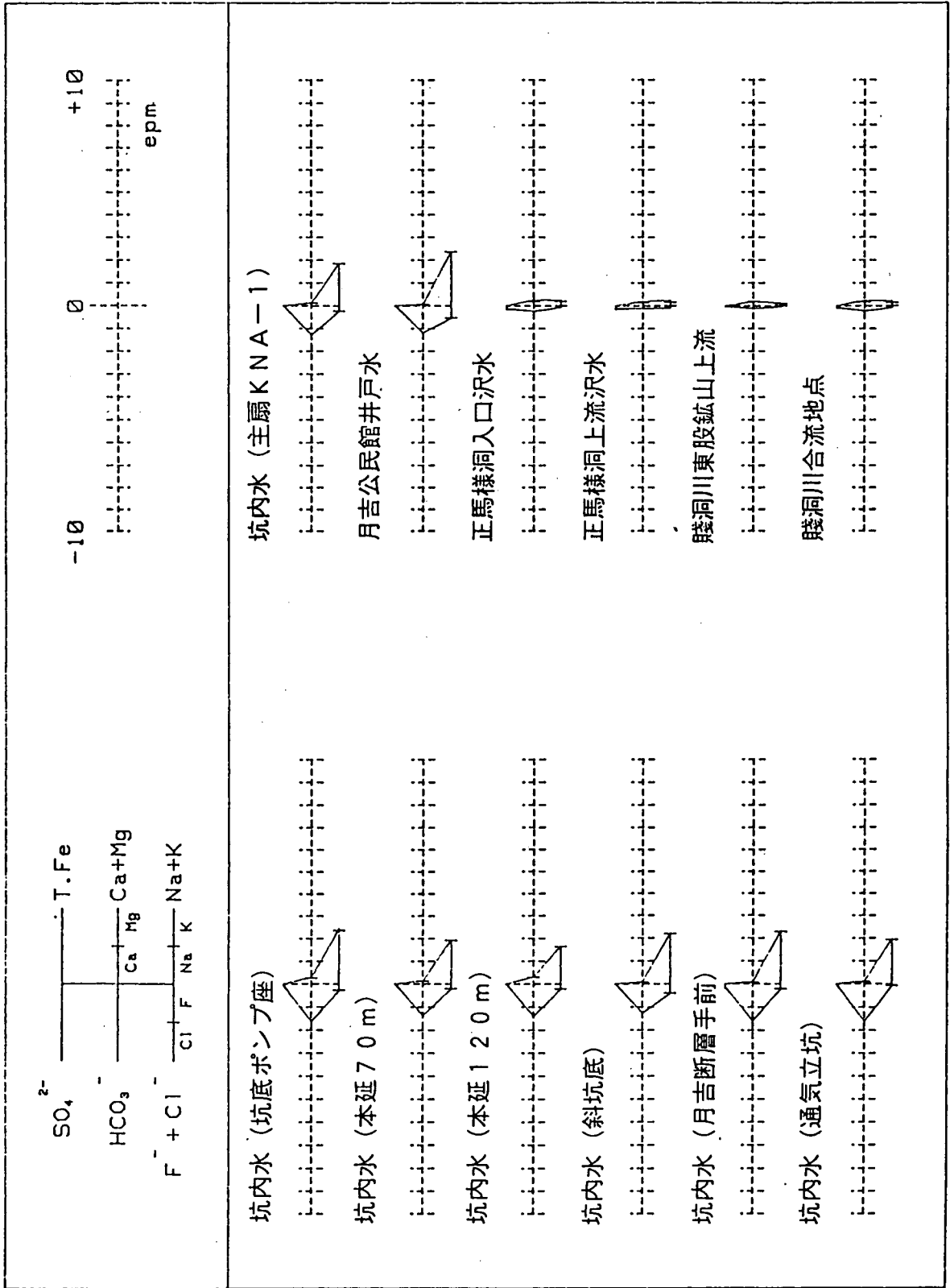


図-111 (2) ヘキサダイアグラム (周辺地域：昭和63年7月28日採取)



### 3. トレーサー試験

#### 3-1 試験概要

トレーサー試験方式は影響範囲を狭い範囲とするため、揚水と注水を繰り返す再循環方式とした。A I - 2号孔をトレーサーの注入孔、A I - 1号孔をトレーサーの回収孔とし、平成2年3月3日午前10時30分に事前循環を開始した。循環による地下水の流れをモニタリングするために、各孔において携帯水位計および水圧式水位変換器による水位測定を実施した。トレーサーとしては非吸着性の元素として臭素を採用し、臭化ナトリウム (NaBr) を用いた。トレーサーの注入は事前循環開始の約4日後の3月7日正午に開始した。回収孔においては適宜地下水を採取し、イオンクロマトグラフ法により臭素イオン濃度の分析を実施した。尚、本試験は現在(平成2年3月31日)もトレーサーの回収および分析を継続中である。また、長期揚水試験と同様に水理モデルによる揚水と注水の循環による水位変化の予測シミュレーションを試み、実測値との比較を行った。

#### 3-2 試験システム

概要で述べたように試験方式は再循環方式(外部への水位変動の影響を少なくする利点がある。)をとり、揚水孔(トレーサー回収孔)はA I - 1号孔、注水孔(トレーサー注入孔)はA I - 2号孔とし、約7m区間で定常な地下水の流れを発生させた上でトレーサーの注入を行った。

A I - 1, 2号孔の両孔とも地表から深度89.3mまで掘進されており、基盤岩である花崗岩の風化部に達している。コア地質調査によると、A I - 1号孔では深度86.7m以深が基盤岩、A I - 2号孔では88.5m以深が基盤岩、それぞれその上位は土岐夾炭累層(下部層)の堆積岩となっており、その不整合面は傾斜している。両孔は地表より深度80mまで

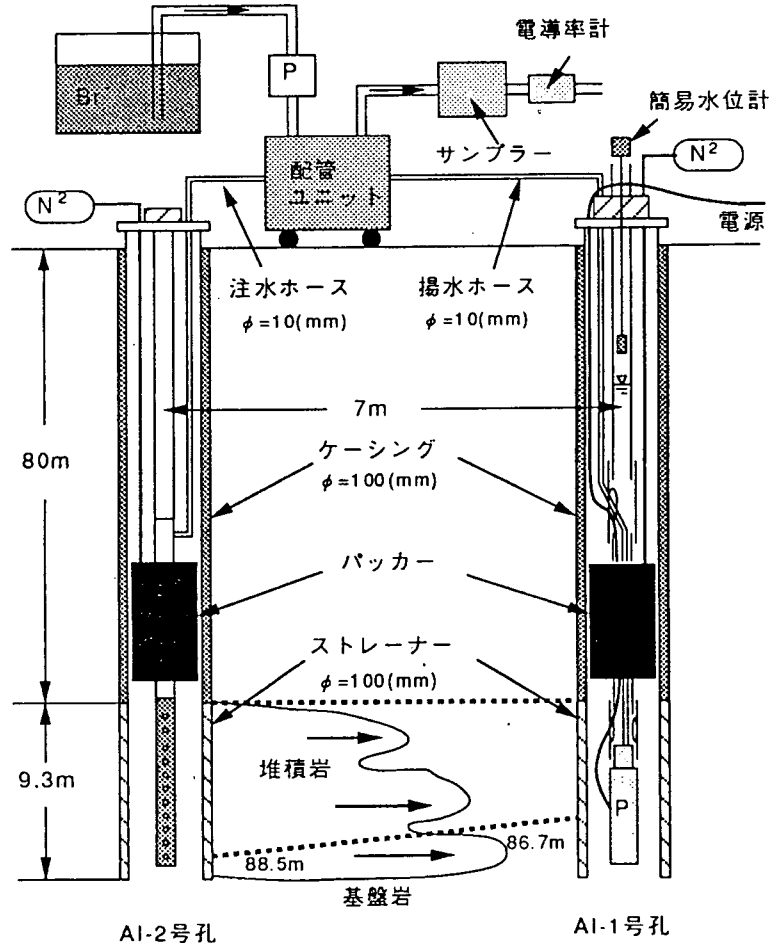


図-12 トレーサー試験システム模式図

はケーシング、以深はストレーナに仕上げられている。付録2に地質柱状図を示す。

A I - 2号孔への注水は、深度約79mのケーシング部にパッカーを設置し、完全にストレーナ区間を密閉し、またこの区間に均等な注水効果があるよう、注水部先端に有孔の塩ビ管（約8m長）を取り付けた状態で行った。

A I - 1号孔への揚水も同様に密閉されたストレーナ区間に対して行った。しかし、二重管内の水位が大きく変動し携帯水位計での測定が非常に困難となった。（二重管構造にすることによって、水中ポンプの脈動の影響が水位変動を助長した。）また、パッカースライディングヘッド部からの窒素ガスのリークが生じたために、実際にはパッカーを加圧せずストレーナ区間とケーシング区間を開放させて揚水を行った。揚水と注水の循環開始に先立ち、水中ポンプ直上の滞留している地下水を汲み上げ〔約300(ℓ)〕、直接これをA I - 2号孔へ注水することを避けた。

地下水の送水用としては内径10mmのホースを水中ポンプ（揚水孔側）およびパッカーの上部（注水孔側）に取り付け、両ホースを地上に設置した配管ユニットに配した。ユニットには流量調整用のニードルバルブ、定流量制御のための流量バルンサー（10(ℓ/min)用）、流量計、積算流量計、圧力計を組み込み、循環流量、トレーサー注入量、注入圧力を測定できるようにした。また、採水器および導電率計へのバイパスを組み、定期的に地下水の採取および導電率のモニタリングが行えるようにした。図-12にトレーサー試験システムの模式図を示す。また、図-13に配管ユニットの模式図を示す。

### 3-3 水位モニタリング

揚水と注水による循環を開始する前に、各孔で携帯水位計による初期水位測定を行った。水圧式水位変換器は観測孔であるA I - 3, 4, 11号孔の計3孔に設置し、また携帯水位計を併用して本試験期間中の水位のモニタリングを行った。測定された各孔での水位変化を図-14(1)~(10)に示す。横軸には経過時間(日)を、縦軸には水位変化(m)をそれぞれ算術目盛にとってある。また、図中にはトレーサーの注入時点での水位変動量(m)を記してある。ここでの水位変動量とは循環開始以降測定された最低水位と最高水位との差をとったものである。

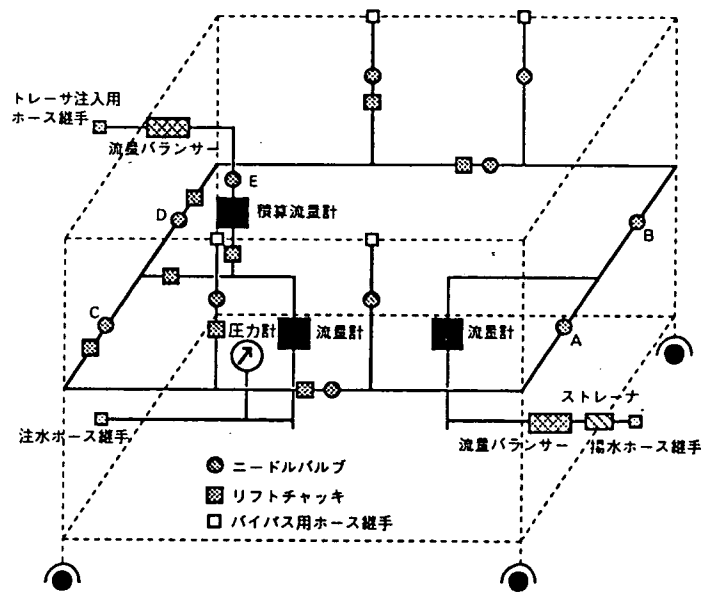


図-13 配管ユニット模式図



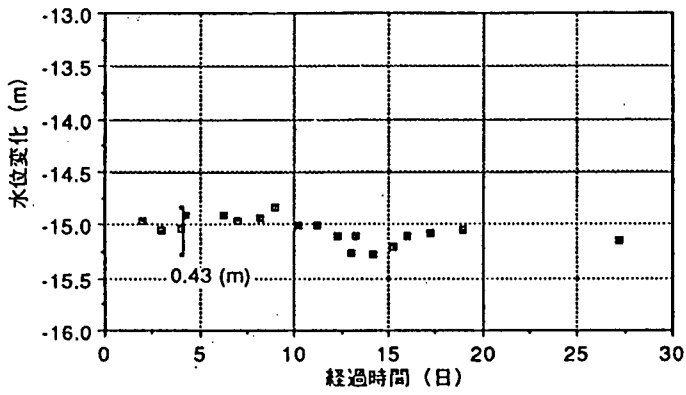


図-14(1) 水位変化  
(A1-1号孔)

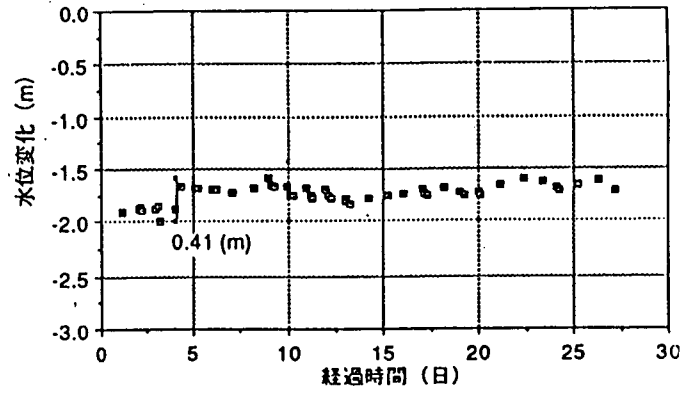


図-14(2) 水位変化  
(A1-3号孔)

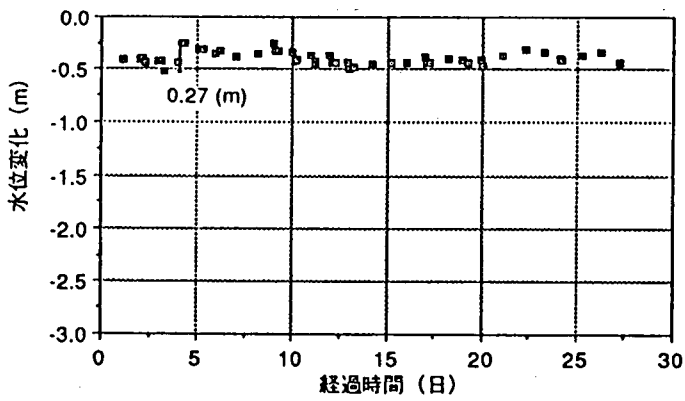


図-14(3) 水位変化  
(A1-4号孔)

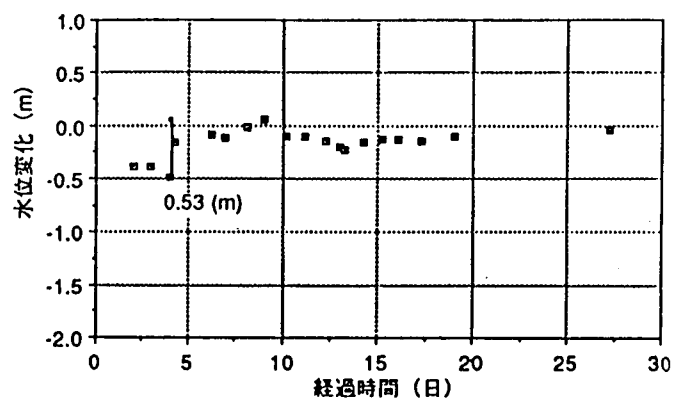


図-14(4) 水位変化  
(A1-5号孔)

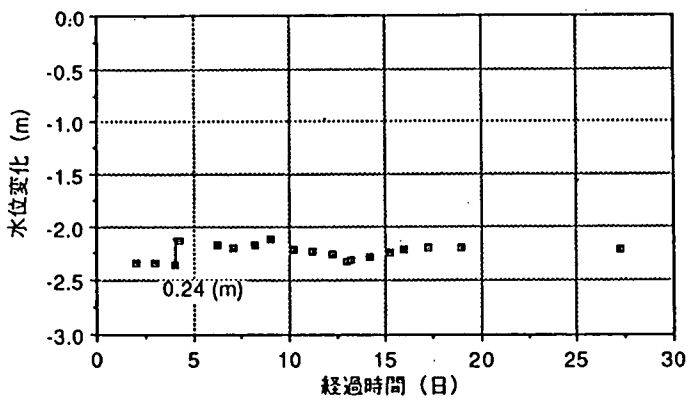


図-14(5) 水位変化  
(A1-6号孔)

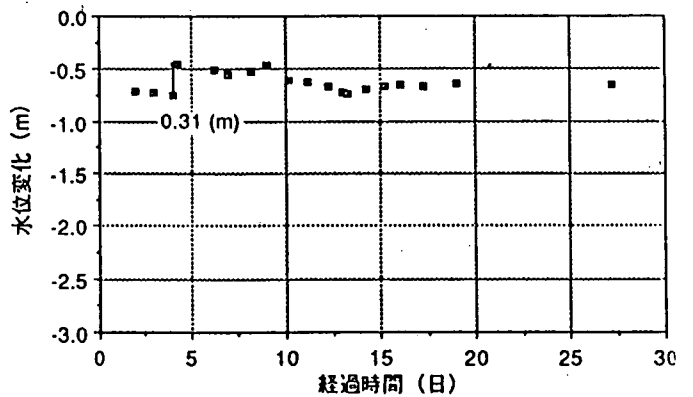


図-14(6) 水位変化  
(A1-7号孔)

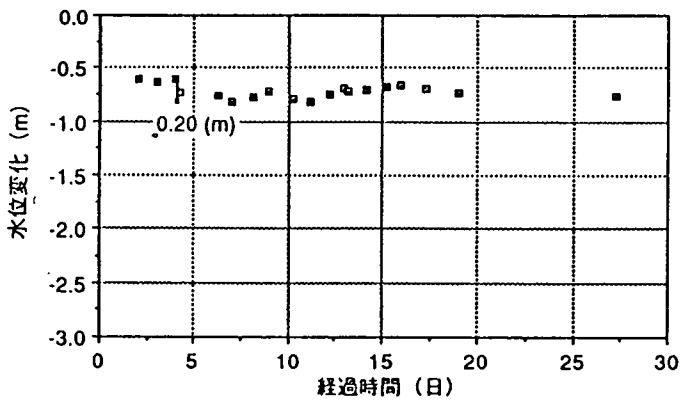


図-14(7) 水位変化  
(A1-9号孔)

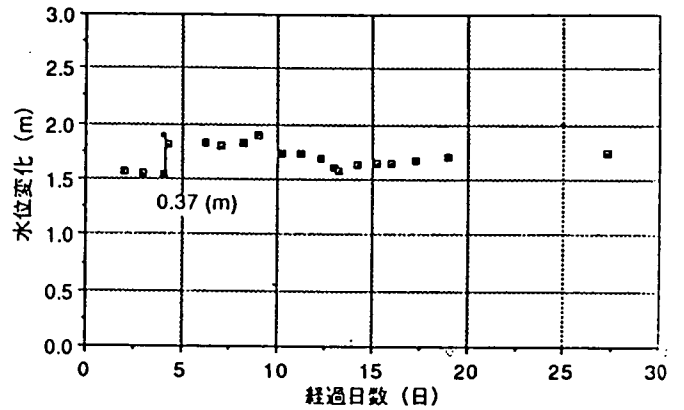


図-14(8) 水位変化  
(A1-10号孔)

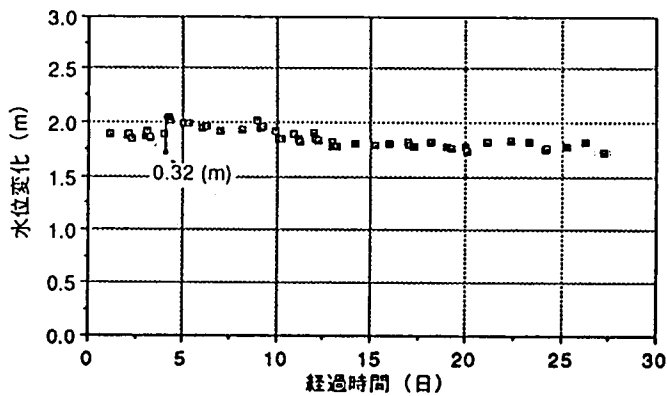


図-14(9) 水位変化  
(A1-11号孔)

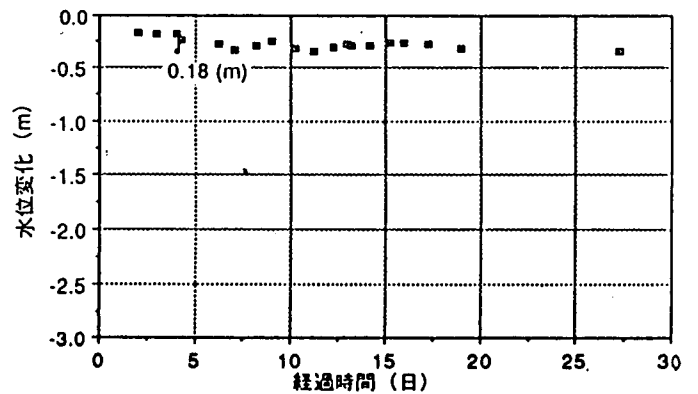


図-14(10) 水位変化  
(A1-12号孔)

トレーサーの注入は循環開始から約4日後に行ったが、その間の水位の変動は小さく、試験場地域内で良好な定常状態が得られている。トレーサー注入後水位が大きく変動した。これはトレーサーの投入時に揚水と注水を分断した際、注入前後での循環流量のバランスが乱れたためと考えられる。

### 3-4 トレーサーの注入

トレーサーの注入方法は、注水側を一時配管ユニット内で閉鎖し、これをに代わる系から小流量用高圧ポンプによってトレーサー液を送水した。閉鎖前後での揚水量および注水量を同じにするために、バルブの開閉によって流量の調整を行った。

閉鎖前は配管ユニット内のバルブA, B, C, Dは開放状態(全開)で、バルブEは閉じてある。注入開始直前にバルブC, Dを閉じ、同時にバルブA, Bを調整しながら循環時の揚水流量を保ち、バイパス用バルブを開放させ地表へ地下水を排出した。これと並行して、送水用ポンプの電源を入れ、同時にバルブEを開放し、送水用ホー

スに設置した流量バランサー〔7 (ℓ/min)用〕の調整弁を開閉して循環時の注水流量に合わせた。(図-13参照のこと。)

トレーサー溶液は、予めA I - 1号孔から汲み上げておいた地下水〔約200(ℓ)〕に臭化ナトリウム約2 kgを溶かして作成した。注入開始直後、中間、終了直前のトレーサー溶液を採水し、初期濃度の分析を行った。この結果によると、臭素イオン濃度は約8300 (ppm)となった。また、注入に要した時間は約24分で、約187(ℓ)のトレーサー溶液を注入した。注入終了後、速やかに閉鎖前の状態に戻した。

### 3-5 試験条件の設定

本試験に先立ち、試験条件である循環流量を設定するために予備計算を行った。これにはゲルハーの方法を適用し、循環流量、拡散長、空隙率を変えて、トレーサーのピーク到達時間(日)およびピーク濃度(ppm)を算出した。表-2にその結果をまとめる。尚、ゲルハーの方法については付録3に載せる。また、ここでは帯水層厚を10 m、孔間距離を7 m、トレーサー注入量を1500 gとして計算してある。

最も良い条件である循環流量が8.0(ℓ/min)、拡散長が1.4(cm)、空隙率が20(%)の場合に、濃度のピークが到達するのに要する時間は約9日と算定された。コアサンプルによる室内試験によると、空隙率は約30(%)前後を示した。仮に空隙率を30(%)とした時に、流量が4.0(ℓ/min)以下の場合には、ピークが到達するのに約1ヵ月、もしくは

表-2 算出値(ピーク到達時間間、ピーク濃度)

循環流量(l/min)		2.0		4.0		8.0	
拡散長(m)	空隙率(%)	到達時間(day)	濃度(ppm)	到達時間(day)	濃度(ppm)	到達時間(day)	濃度(ppm)
0.7	40	88.5	2.0	44.2	2.0	22.1	2.0
	30	66.4	2.7	33.2	2.7	16.6	2.7
	20	44.2	4.1	22.1	4.1	11.1	4.1
0.07	40	78.3	4.3	39.1	4.3	19.6	4.3
	30	58.7	5.7	29.4	5.7	14.7	5.7
	20	39.1	8.6	19.6	8.6	9.8	8.6
0.014	40	74.9	6.8	37.4	6.8	18.7	6.8
	30	56.1	9.1	28.1	9.1	14.0	9.1
	20	37.4	13.6	18.7	13.6	9.4	13.6

はそれ以上の期間を要する。実際の試験期間となると、濃度が減少していく期間におけるモニタリングまでを考慮するともっと長くなる。長期間に渡るような試験条件の設定ではトレーサーが全く検出されない恐れがあるため余り好ましくない。ピーク到達時間は循環流量が大きい程、空隙率が小さい程、また拡散長が短い程早くなる。循環流量を8.0(ℓ/min)以上にすれば申し分ないであろうが、この場合大容量の注水による地層破壊の危惧が考えられる。また水中ポンプの能力等を考慮した上で、循環流量は約8.0(ℓ/min)前後が最適と判断した。実際の試験時循環流量は、配管ユニット内組み込みの流量計で約7.8(ℓ/min)を示した。

### 3-6 トレーサーの回収

トレーサーの回収はトレーサーの注入と同時に開始した。揚水された地下水は配管ユニット内のバイパス取り口に直結したオートサンプラーにより適宜採水を行った。オートサンプラーの仕様は、1サイクルで70本（100ccの容器）のサンプルを取ることができ、採水間隔は0～3（時間）、採水時間は0～30（分）で任意に設定することができるものである。当初、採水を実行していない間のオートサンプラーからの地下水の逃げ水をバイパス受け口から循環本系に戻す方法を考案した。また本試験を開始する以前に、循環テスト〔約4.0( $\ell$ /min)〕および試験機器調整期間中に十分にそのバイパス機能を確認したが、本試験の約8.0( $\ell$ /min)の流量設定では配管ユニット内部の管内圧力が高すぎ、思うようにバイパス内に流れが発生しなかった。これに対処するため、バイパス取り口から導いた地下水はオートサンプラーを介して地表に排水する方式を取った。注水量に余り影響を与えない程度の小流量（毎分100cc前後）での排水を常に行い、採水時間およびバイパス取り口からの流量の調整により、サンプリングには適切な採取量が得られるようにした。採水の時間間隔は約15分の設定から開始した。適宜間隔設定を長くし、試験後半では約3時間間隔での採水を行った。

現場でのトレーサーの簡易モニタリングとして導電率を測定した。導電率計の設置に関してはオートサンプラーと同様にバイパスに組み込む予定であったが、上述と同じ事情により変更し、バイパス取り口からまず導電率計を通しオートサンプラーへと接続させ地表へと排水する方法とした。

実際の採水に関し、バイパスから常時排水される量が時間経過とともに徐々に減少してしまうという問題が起きた。サンプリングされた量が一定とならず、最悪の場合、採水されないこともあった。この原因としては、バイパス取り口に設置した流量調節用のバルブをかなり絞り込んでいるため、長時間の放置によって徐々にこの部分の圧力が大気圧と平衡な状態となったためと考えられる。この流量の減少のためバイパス取り口に直結したチューブ内の地下水が凍結するというトラブル等も起きた。（凍結防止ヒータを取り付けることによって対処した。）

導電率のモニターにもこの影響が現われ、流量の減少により導電率セル内に地下水が滞留し、指示された値そのものが判然としないこと、凍結による測定不可等により、またトレーサーである臭素イオン濃度の増加減少に対してもそれ程敏感ではなかったため、参考とするには良好なデータの取得ができなかった。

### 3-7 トレーサー濃度

サンプリングしたすべての試料を分析するには数が多く、分析業務もこれに対応するには長期間を要するが、試験を行うにはトレーサーの経時的な濃度変化を早く知る必要があった。このための確かなトレーサーの破過曲線が得られる程度の分析試料を抽出し、イオンクロマトグラフ法による分析を行った。

分析された結果に対してはトレーサーとしての臭素イオンの濃度だけではなく、他物質の濃度も考慮し、異常値を示すものは無効とした。表-3(1)～(2)にその分析結果

をまとめる。

図-15に回収孔におけるトレーサーの破過曲線を示す。図-16に他物質の濃度を付加えたトレーサーの破過曲線を示す。両図とも縦軸には濃度 (ppm)を算術目盛に、横軸にはトレーサー注入後の経過時間 (min)を前者は算術目盛、後者は対数目盛にとっている。

表-3(1) 分析結果

採取番号	経過時間 (分)	臭素 (ppm)	フッ素 (ppm)	塩素 (ppm)	硫酸 (ppm)
27	335	0.0023	8.33	1.093	2.11
29	366	0.0088	8.66	1.059	2.008
37	492	0.1623	8.75	1.005	1.874
41	555	0.53	8.38	1.033	1.834
45	618	1.121	8.45	1.148	1.944
49	681	2.146	8.55	1.184	2.044
53	744	3.245	8.53	1.232	2.236
No. less	1282	7.94	8.57	1.089	1.811
90	1326	8.78	8.19	1.1936	2.11
94	1389	8.85	8.18	1.202	2.083
98	1452	8.06	8.63	0.986	1.81
102	1501	9.05	8.21	1.228	2.037
106	1564	9.66	8.63	1.065	1.991
117	1718	9.57	8.22	0.987	1.688
120	1783	9.289	8.258	0.9939	2.046
122	1814	9.32	8.42	1.044	1.842
123	1829	9.3	8.25	1.0022	2.039
124	1845	9.48	8.17	1.14	2.06
125	1860	9.323	8.295	1.011	2.032
126	1875	9.29	8.47	1.06	1.885
130	1937	9.31	8.48	1.048	1.865
135	2014	9.35	8.49	1.044	1.891
140	2091	9.25	8.48	1.036	1.938
145	2168	9.26	8.48	1.078	1.973
150	2246	9.2	8.45	1.073	1.96
152	2276	9.35	8.34	1.088	2.08
153	2292	10.03	8.64	1.14	2.094
182	2739	8.82	8.31	1.032	1.919
185	2811	9.36	8.78	0.9965	2.097
187	2862	8.98	8.47	1.036	1.822
188	2887	9.014	8.214	1.101	2.047
189	2913	9.27	8.73	1.191	2.095
191	2964	8.89	8.45	0.9957	1.896
194	3040	9.36	8.74	0.997	2.057
196	3091	8.79	8.41	1.055	1.921
198	3142	9.18	8.69	1.188	2.088
200	3178	8.9	8.44	1.045	1.887
203	3238	9.11	8.76	1.039	2.0438
205	3278	8.72	8.43	1.056	1.866
208	3357	9.072	8.63	1.046	2.0629
210	3377	9.63	8.6	1.23	1.94
212	3417	9.16	8.79	1.024	2.044

表 - 3 (2) 分析結果

採取番号	経過時間 (分)	臭素 (ppm)	フッ素 (ppm)	塩素 (ppm)	硫酸 (ppm)
215	3477	8.9	8.51	1.051	1.92
220	3577	9.52	8.54	1.255	2.207
252	4215	8.37	8.44	1.049	1.911
255	4273	9.18	8.91	1.132	2.096
258	4391	8.93	8.96	1.022	2.157
260	4470	9.25	8.69	1.205	1.967
263	4588	8.67	8.99	1.017	2.014
265	4667	8.43	8.66	1.041	2.04
297	5929	7.42	8.46	1.042	1.9
301	6064	7.46	8.9	0.9955	1.988
304	6182	7.35	8.4	1.153	2.096
327	7089	6.62	8.49	1.048	1.731
329	7149	6.856	8.381	1.137	2.05
330	7189	7.36	8.79	1.069	1.947
331	7228	6.701	8.357	1.098	2.027
335	7386	7.19	8.75	1.078	1.937
340	7583	7.02	8.66	1.162	1.929
345	7781	6.968	8.76	1.103	1.92
363	8491	6.67	8.69	1.053	1.959
366	8609	6.62	8.67	1.052	1.951
370	8757	6.17	8.94	1.0022	1.974
380	9149	6.09	8.23	1.191	1.981
400	9932	6.12	8.5	1.113	1.794
404	10044	5.94	8.95	1.144	2.021
409	10201	5.73	8.35	1.211	1.959
417	10516	5.7	8.33	1.193	1.95
420	10547	5.617	8.332	1.1	1.951
426	10736	5.59	8.32	1.228	1.92
435	11018	5.53	8.32	1.294	1.928
441	11207	5.56	8.34	1.226	1.95
446	11364	5.398	8.31	1.09	1.989
459	11777	5.43	8.35	1.189	1.95
464	11936	5.48	8.24	1.106	1.917
469	12095	5.327	8.34	1.204	1.938
474	12253	5.22	8.24	1.13	1.856
479	12412	5.263	8.43	0.995	1.934
485	12603	5.2	8.23	1.129	1.904
496	12995	5.18	8.33	1.002	1.891
498	13089	5.179	8.378	1.099	1.991
500	13182	5.14	8.41	0.9943	1.895
504	13369	5.13	8.23	1.089	1.947
509	13603	4.99	8.25	1.107	1.939
514	13836	4.98	8.3	1.004	1.859
520	14117	4.95	8.46	0.9911	1.884
525	14350	4.9	8.34	1.049	1.887
531	14610	4.89	8.41	1.127	1.966
561	16088	4.68	8.48	1.0033	1.809
571	16706	4.56	8.35	0.996	1.828
580	17262	4.56	8.55	1.134	1.962
593	18065	4.41	8.311	1.185	2.098
603	18682	4.33	8.49	1.131	1.939
612	19224	4.35	8.77	1.025	1.915
631	20352	4.28	8.709	1.282	1.814
638	20981	4.06	8.36	0.9994	1.87
644	21520	4.04	8.48	1.11	1.757
650	22059	3.87	8.33	1.065	1.923
660	22956	3.79	8.31	1.082	1.919
661	23046	3.832	8.51	1.104	1.974
730	30498	3.264	8.459	1.089	1.907
731	30677	3.16	8.49	0.9672	1.905
747	33547	2.99	8.39	1.096	1.888

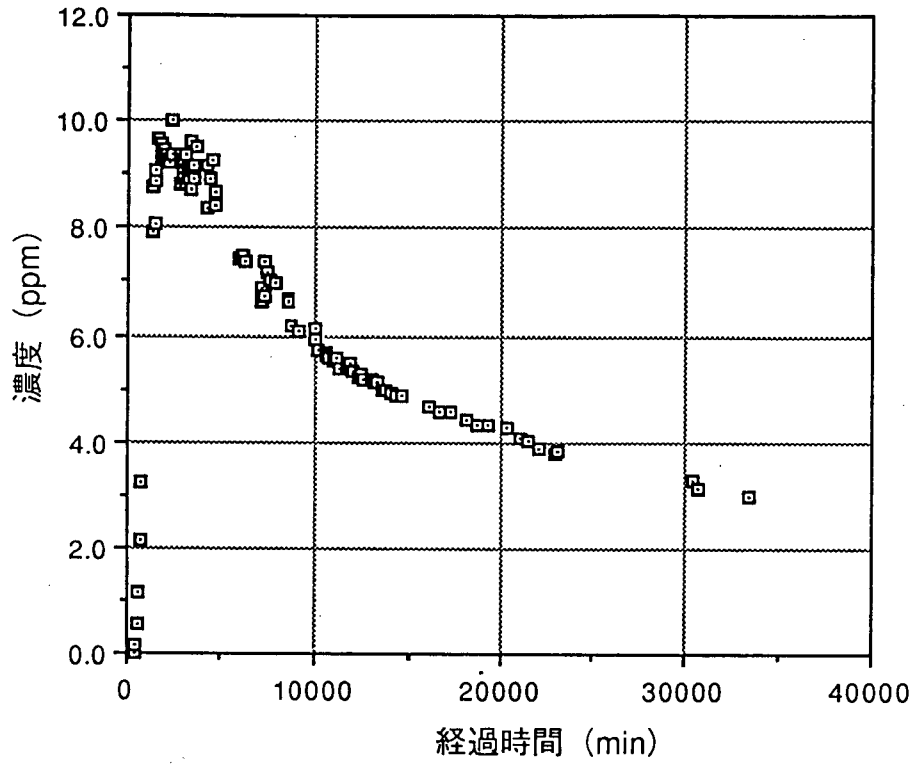


図-15 トレーサー破過曲線 1

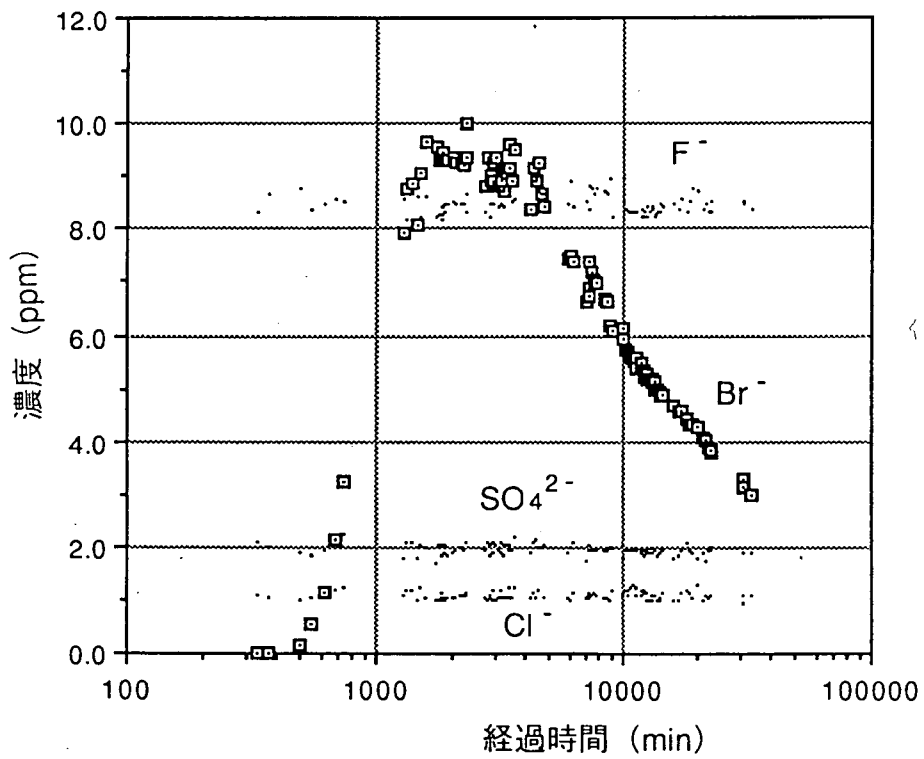


図-16 トレーサー破過曲線 2

トレーサーは注入開始から約5時間を経過した時点で検出された。その後トレーサーの濃度は急激に上昇し、約38時間後にピークに達した。濃度は約10 (ppm)であった。ピークを過ぎ、濃度は徐々に下降していったが、立上り程鋭くはなくなだらかに減少していった。

図-16に、フッ素イオン、硫酸イオン、塩素イオンの3つの物質の濃度をプロットしたが、それぞれの濃度は多少の変動を示すものの、これらは原位置の地下水に近い値を示すものと考えられる。データを抽出した際これらに異常が認められた試料においては、臭素イオン濃度も同様に異常値を示すものが多かった。これら試料については採取量が微小であったものが多く、分析の精度からしても得られた値には信頼性が少ないと考え除外した。フッ素イオンは約8~9 (ppm)、硫酸イオンは約2 (ppm)前後、塩素イオンは約1 (ppm)前後を示しているのが判る。

### 3-8 有効空隙率の試算

物質の移動特性に係わるパラメータである有効空隙率を、ゲルハールのタイプカーブによるマッチングによって算出した。図-17にタイプカーブマッチングを示す。(付録3参照のこと。)

ここでは、 $\epsilon = 0.05 \sim 0.2$ の場合に得られるTとCの関係の曲線に実測値をあてはめてみた。尚、実測値の横軸である経過時間は100~10000(min)としてある。

$\epsilon = 0.1$ の時がトレーサーの破過曲線の立上り部分が良く一致する。この時、拡散長  $\alpha = \epsilon L = 0.7$  (m) が得られる。T = 0.5の時、実測値の経過時間  $t = 700$  (min) が求まる。結果として、有効帯水層厚  $nH = Q t / L^2$  T = 0.22 (m) が得られる。ここで帯水層厚を10mと見積もると約2 (%) という小さな空隙率となる。

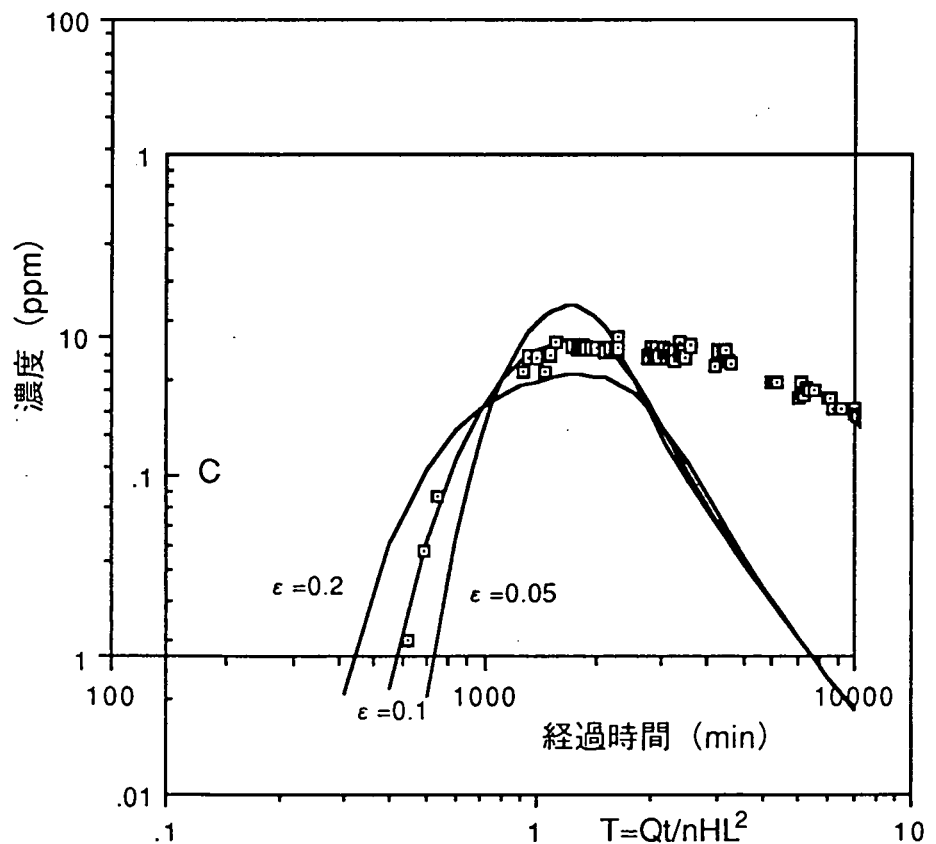


図-17 タイプカーブマッチング



ここで試算された、有効帯水層厚  $nH = 0.22$  (m)、拡散長  $\alpha = 0.7$  (m) を用い、また孔間距離  $L = 7$  (m)、トレーサー注入量  $M = 1500$  (g)、流量  $Q = 7.8$  ( $\ell / \text{min}$ ) の条件をゲルハーの式に代入し、回収孔におけるトレーサーの破過曲線を求めてみる。これを図-18に示す。尚、実測値も図中にプロットする。横軸に経過時間(日)を、縦軸

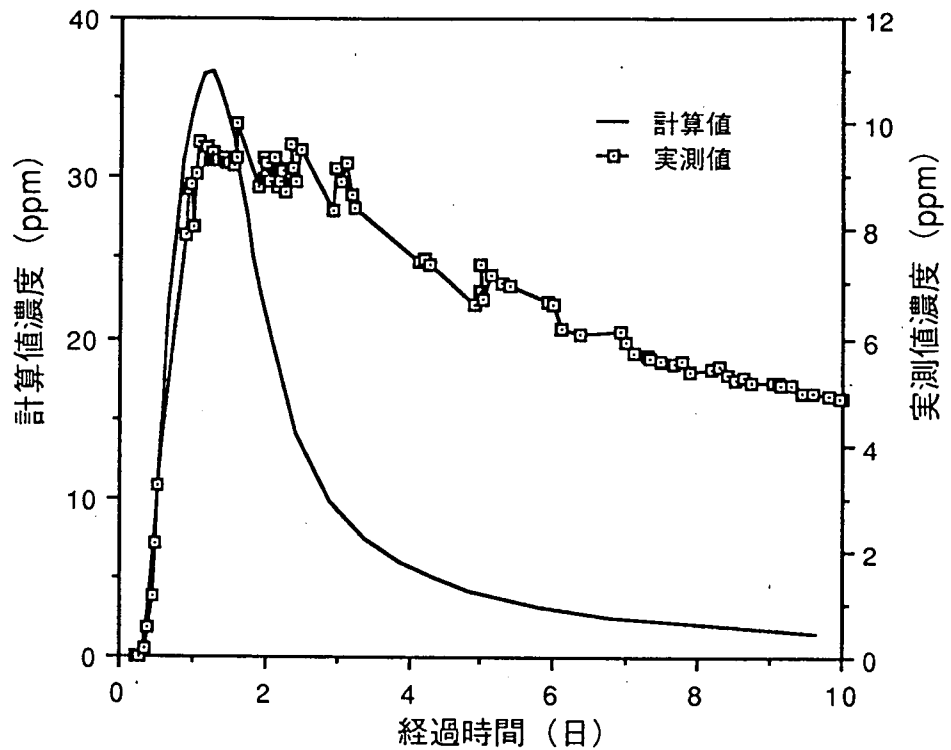


図-18 ゲルハーによる破過曲線との比較

に左側には実測値の濃度 (ppm)、右側には計算値の濃度 (ppm) をそれぞれ算術目盛にとっている。

この結果によると、濃度のピーク時間はある程度合致している。しかし、その濃度は実測によるものが低く(約1/4)なっておりピーク期を過ぎたテイリング部の濃度の減少度もかなり異なっている。計算によれば、テイリング部は立上り部と同じ傾きをなして急激に減少する。実測による減少具合は緩慢である

ゲルハーの式によれば、空隙率そのものはトレーサーの注入量には全

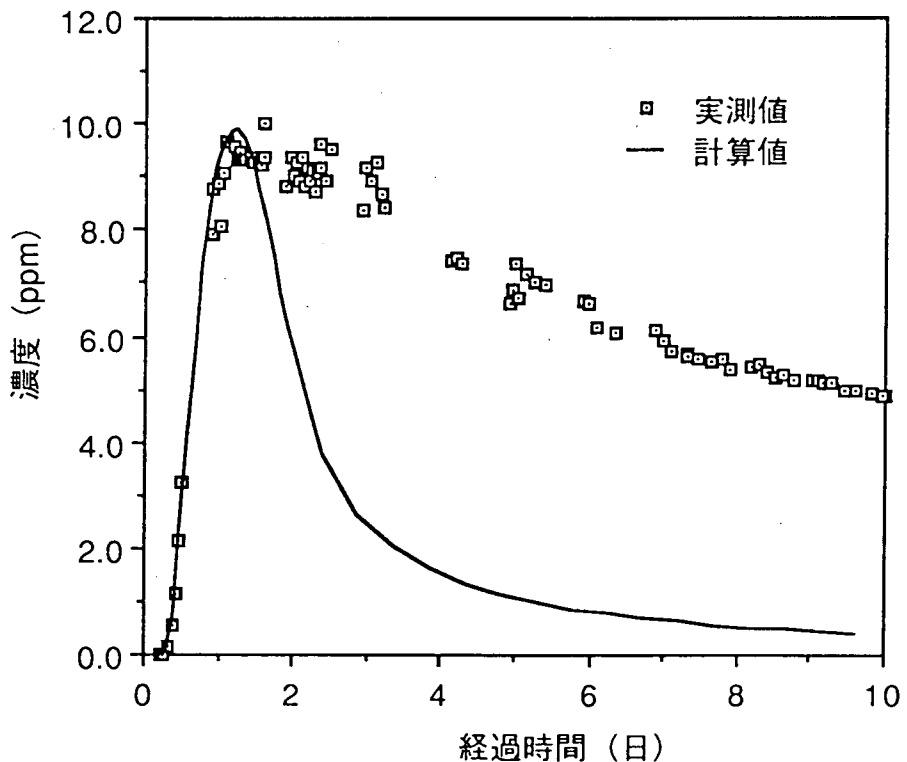


図-19 ゲルハーによる破過曲線との比較

く左右されず、拡散長を仮定するならば、トレーサーの濃度がピークに到達するまでの状況によって算出できるものである。またトレーサーの注入は、ゲルハの式ではある時刻に瞬時に入れられたと仮定されている。しかし、このようなパルス波形に近い形でトレーサーの注入を行うことは実際には難しく、山なり（ピークを持った）を成した波形での注入となる。これは、ストレーナーの形状、孔径等といったボーリング孔自体の問題によって起きる。

今回の試験で得られたトレーサーの破過曲線では、立上り部のデータのみがゲルハでの解析に用いることができると考えられる。また、空隙率を求めようとする場合にもこのテイリング部を考慮する必要性はない。試験が再循環方式によるため、この影響によりテイリング部の緩慢な減少を引き起こしていると考えられる。

実際のトレーサーの注入をパルス波形での注入に仮定した場合のトレーサーの量をゲルハの式によって見積もってみる。図-17において $C=0.08$ の時、実測濃度 $C_w$ は約3 (ppm)を示す。よって適用式に前述した試算値および条件等を代入することによって、トレーサーの量は $M=C_w \cdot n H L^2 / C=3 \times 0.22 \times 7 \times 7 \div 0.08=404(g)$ と算出される。これは実量1500gのトレーサーの量に対して約27%の量となる。図-19にこの時の破過曲線を示す。図-18に比べピーク濃度は実測値に即した値で示されるものとなっている。

### 3-9 予測シミュレーション

循環時の水位変化を2-5節と同様に、コンピュータによる予測計算を行った。図-20(1)~(10)に実測値と計算値との比較を示す。横軸には経過時間(日)、縦軸には水位変化(m)をそれぞれ算術目盛にとってある。予測は循環開始から1日~10日目までを1日刻みで10ポイントで計算を行い、図中では□でプロットしてある。また、実測値は20日目までのデータを■でプロットしてある。

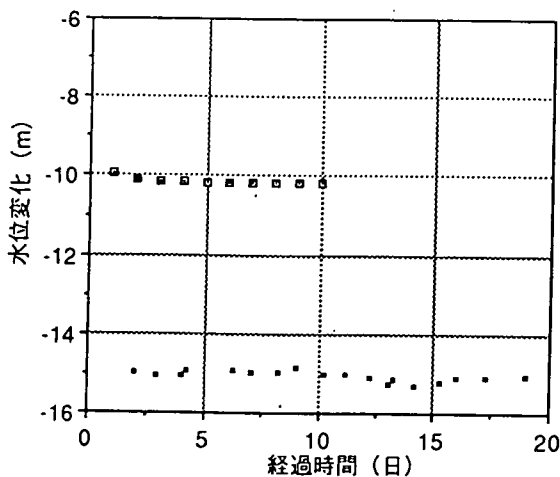


図-20(1) 実測値と計算値との比較  
(A1-1号孔)

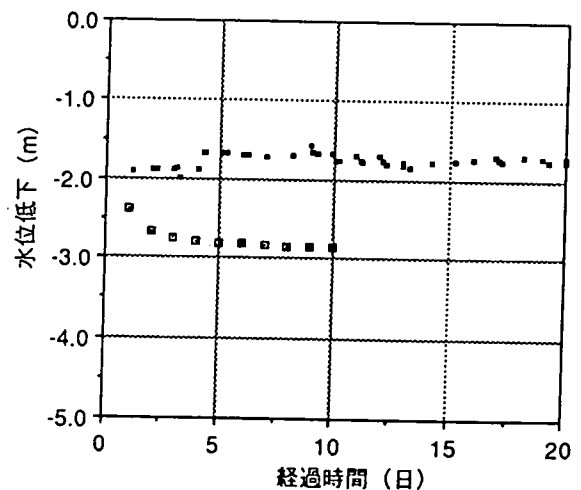


図-20(2) 実測値と計算値との比較  
(A1-3号孔)

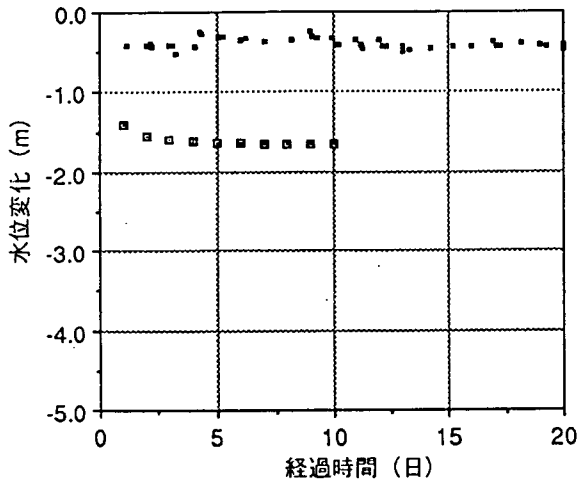


図-20(3) 実測値と計算値との比較  
(A1-4号孔)

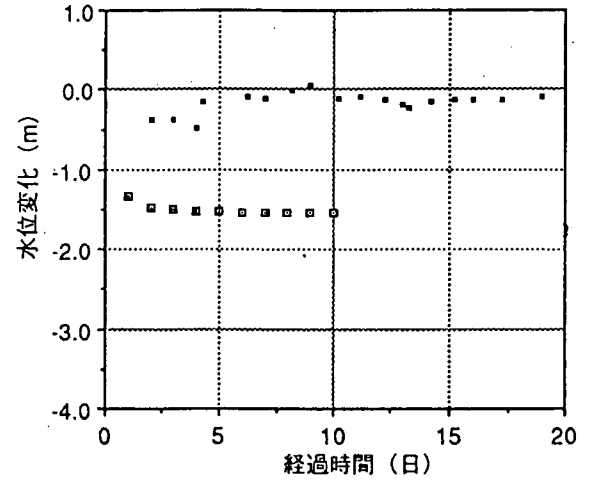


図-20(4) 実測値と計算値との比較  
(A1-5号孔)

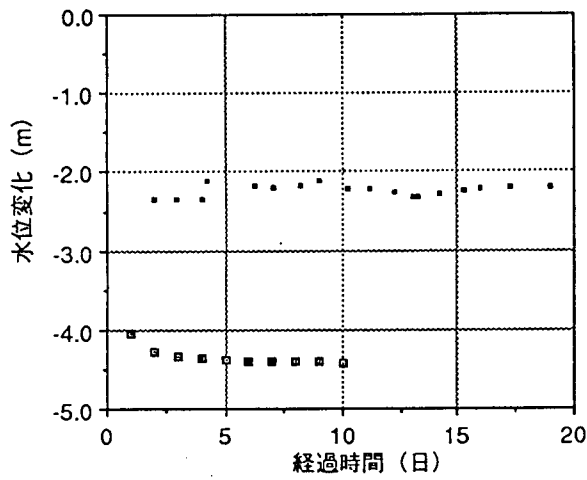


図-20(5) 実測値と計算値との比較  
(A1-6号孔)

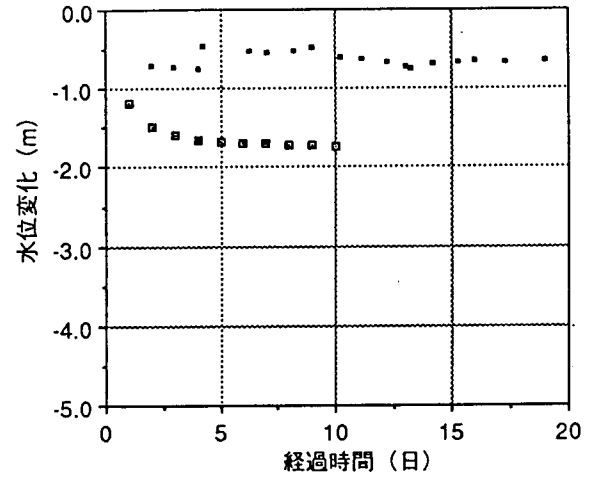


図-20(6) 実測値と計算値との比較  
(A1-7号孔)

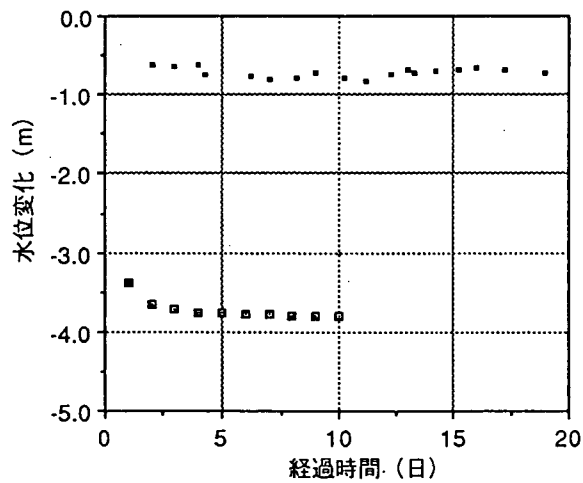


図-20(7) 実測値と計算値との比較  
(A1-9号孔)

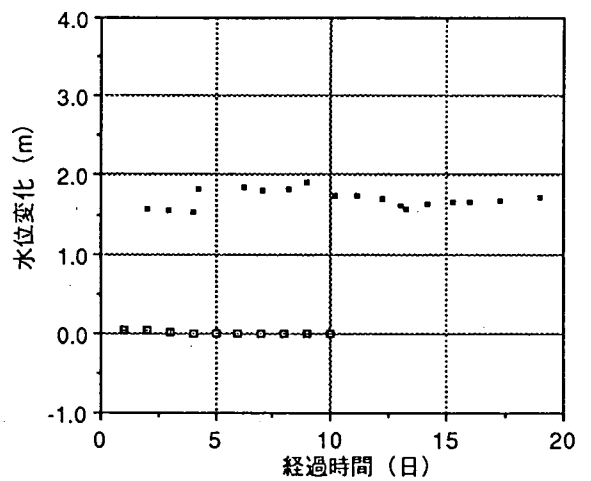


図-20(8) 実測値と計算値との比較  
(A1-10号孔)

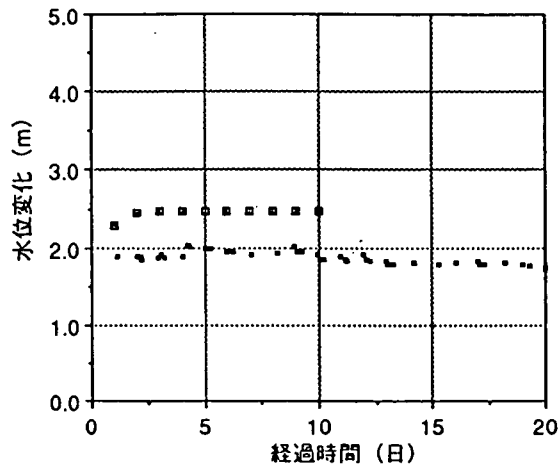


図-20(9) 実測値と計算値との比較  
(A I - 11号孔)

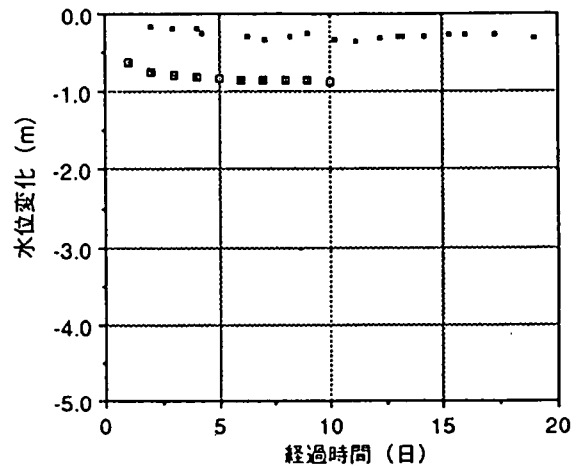


図-20(10) 実測値と計算値との比較  
(A I - 12号孔)

計算結果によると、循環開始から4日経過後から定常状態への移行を示す水位変化の減少状態がみられる。また循環開始から10日経過後に至っては、モデルの領域内で完全に水収支がとれた定常流が発生していることが判る。図-21に10日経過後の流線図(流線は方向のみを示す)を示すとともに、図-22に10日経過後の実測値と計算値との比較を示す。ここでは、横軸には孔名、縦軸には水位変化(m)をとってある。また、図-23(1)に計算による10日後の水位変化分布、図-23(2)に実測値による10日後の水位変化分布を示す。

実測値と計算値には大きな差がみられる。実際の水位分布の特徴は計算値によるものほど注入および揚水の影響が周辺に及んでいない。また注水の影響が揚水の影響よりも大きく、特にその方向はA I - 10号孔付近に向いている。

図-22でA I - 2号孔については計算値のみを示してあるが、閉鎖区間への注水のため、原位置での水位測定は実際には行なっていない。但し、注入圧力は地表で約7.5(kg/cm<sup>2</sup>)前後を示しており、これを単純に計算すると、注水孔の水位は地表から上方75mの位置にあることになる。

図-23(1)、(2)は同じコンピュータプログラムによって描

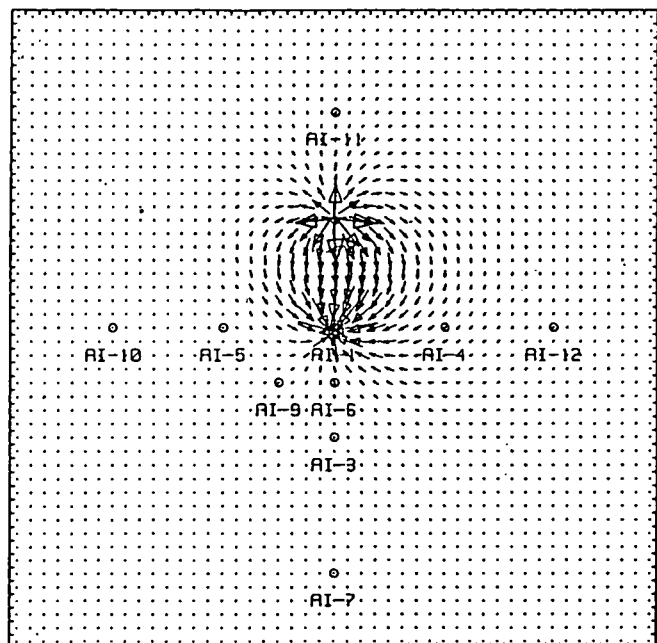


図-21 流線図(10日後)

いたものであるが、図-23(1)で用いたデータは各孔で測定された水位変化の11ポイント(内、A I - 2号孔の水位変化は+15mと仮定してある。)のみで、孔間部分はその12ポイント(A I - 2号孔を含む。)によって補間された値のみを使用し描かれており、そのため、A I - 10号孔付近では不自然な分布形状を示す結果となっているが、注水の影響によって水位の上昇が起きているという事実は伺える。

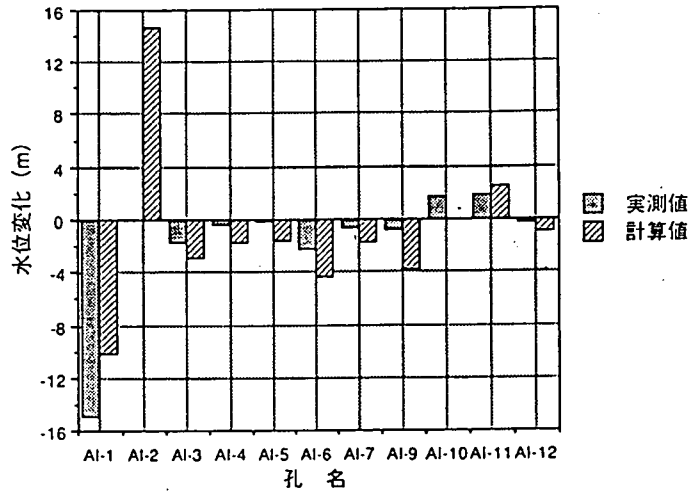


図-22 実測値と計算値との比較 (10日後)

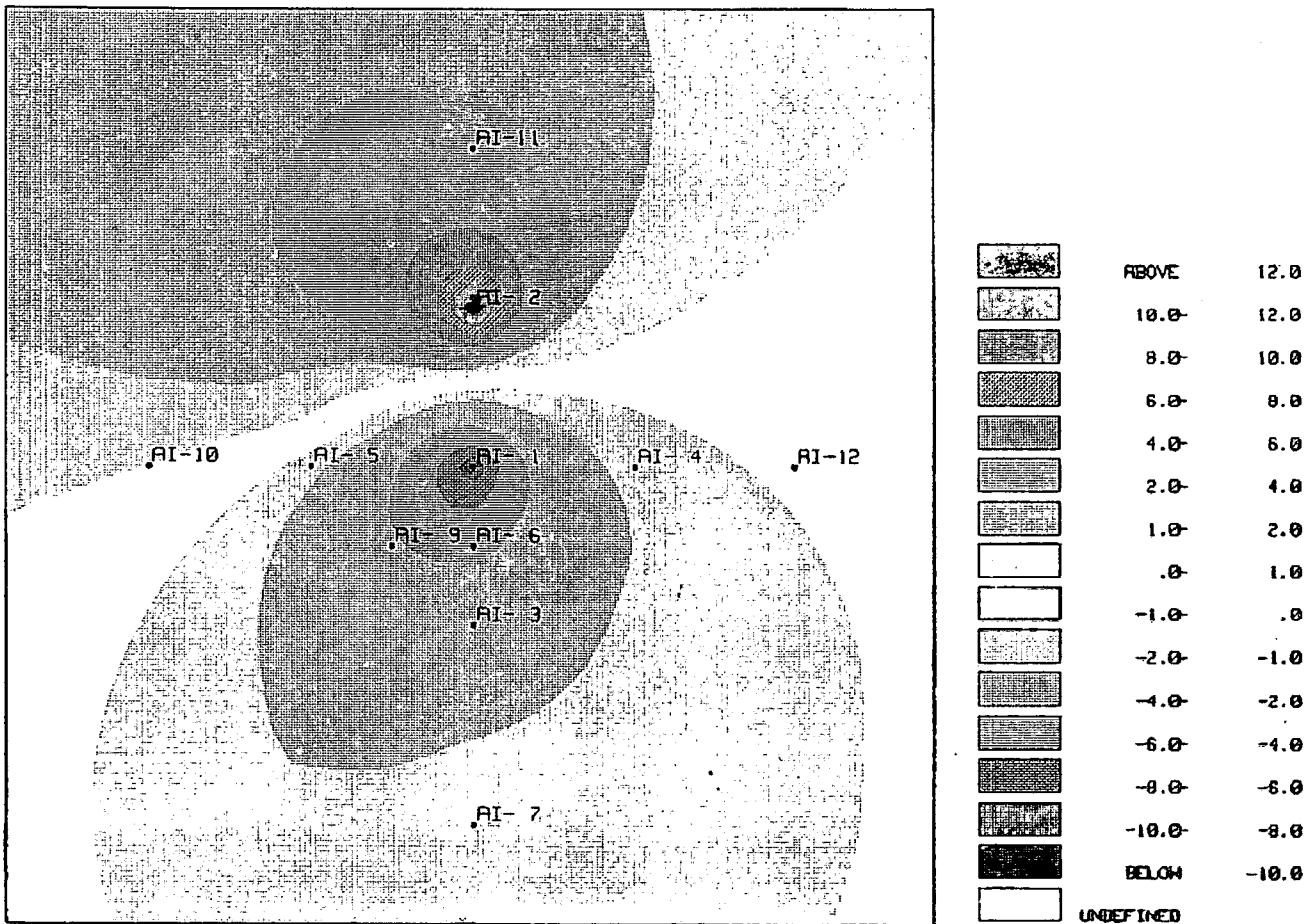


図-23(1) 水位変化分布図 (計算結果)

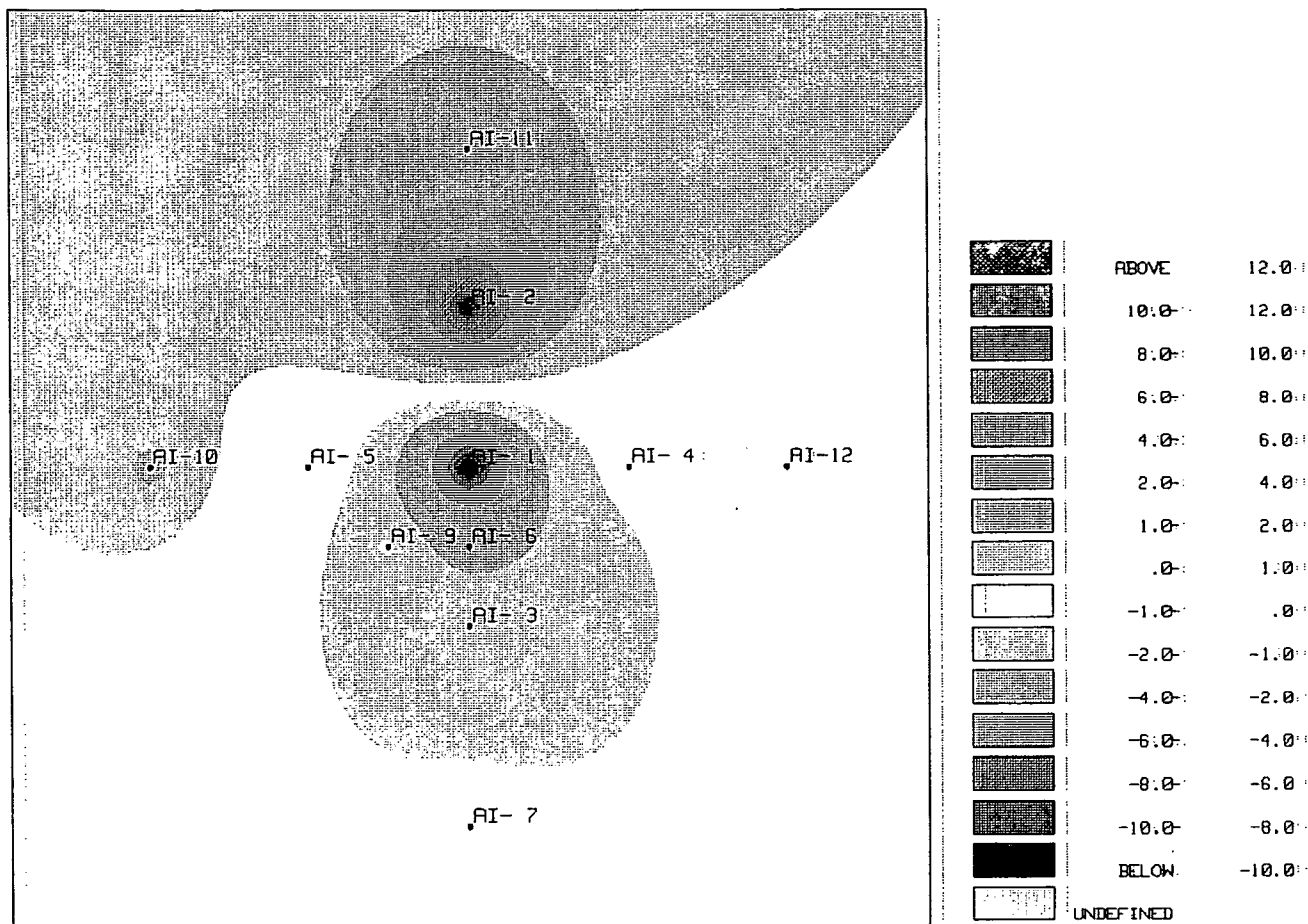


図-23(2) 水位変化分布図 (実測値)

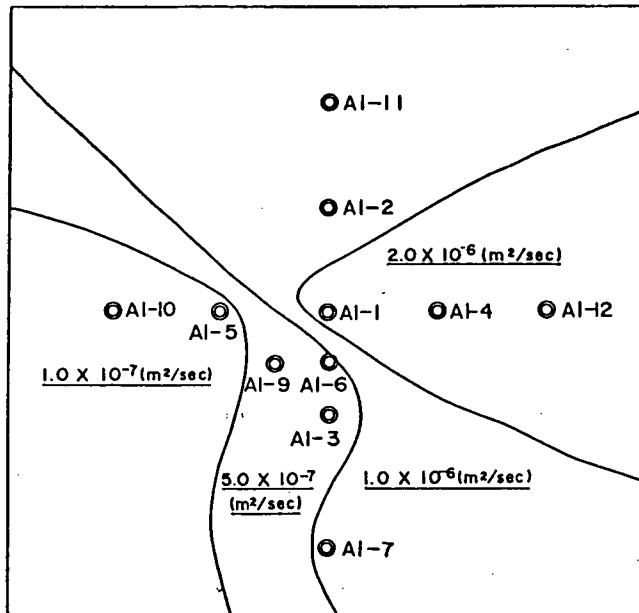
### 5. 今後の予定

- (1) 現在、トレーサー試験で得られた破過曲線をもとに、2次元FEM法による物質移行解析を用いて有効空隙率および拡散係数の同定を行っている。その結果を踏まえた上でトレーサー試験のとりまとめを実施する。
- (2) 水理モデルの最終的な形状を決定する。
- (3) 本技術開発の開始当初からの実施内容および成果を整理し、総合報告書としてとりまとめる。

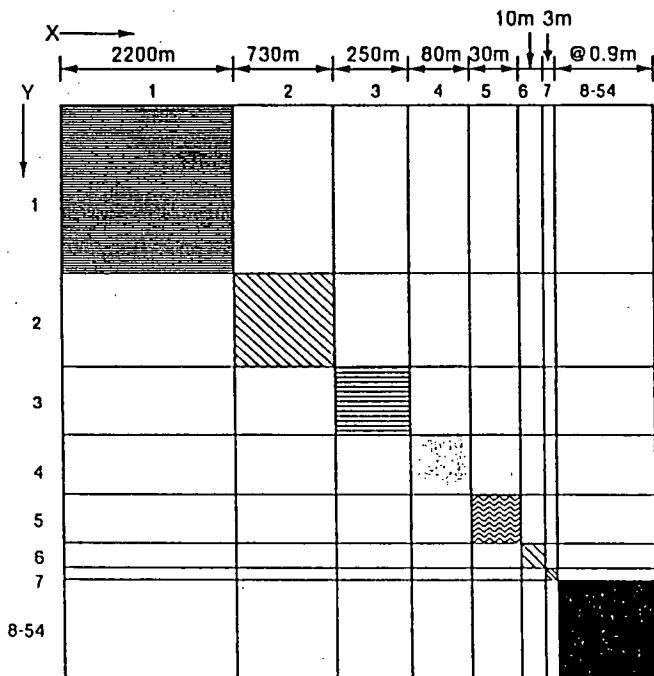
### 〔参考文献〕

- 「新版地下水調査法」 山本荘毅
- 「昭和63年度探査及び採鉱技術開発の現況」 動力炉・核燃料開発事業団
  - 2.1 坑外インプレース・リーチング技術開発
  - 3.1 イオンクロマトグラフによる水質試料中の陰イオン分析
- 「Analysis of Two-well Tracer Tests with a Pulse Input」 L. W. Gelhar

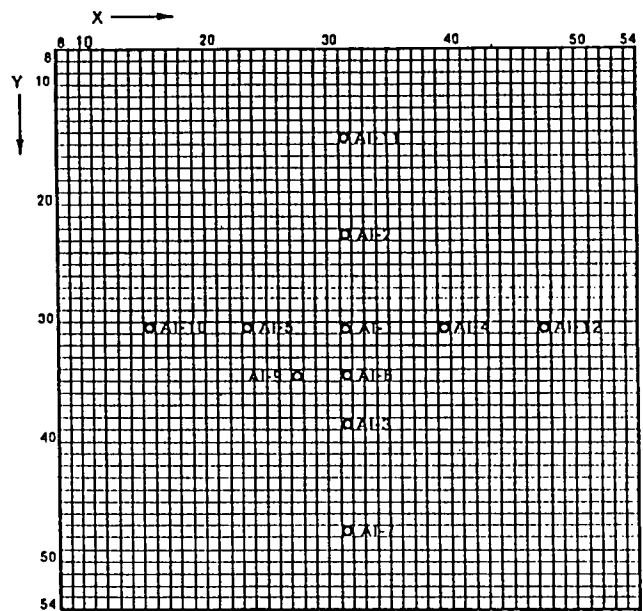
付録1 水理モデル概要



透水量係数分布（単孔水理試験結果をもとに作成：基本分布）



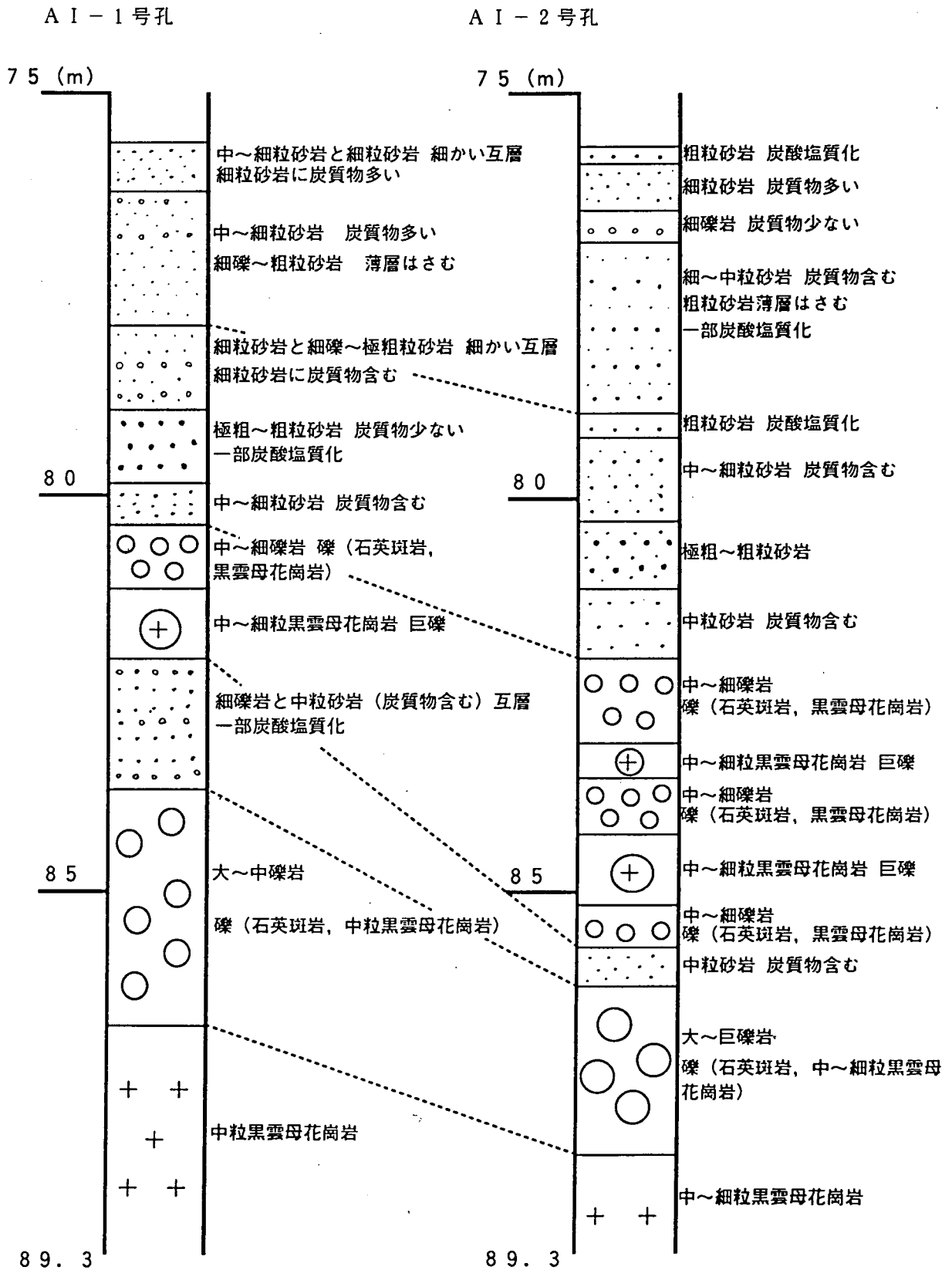
解析領域ブロック図（外周部）



解析領域ブロック図（内部）

- 帯水層厚は50mとする。
- 間隙率は一様とし、40%とする。
- 透水量係数分布は基本分布×5倍とする。

付録2 地質柱状図





### 付録3 ゲルハーの方法

均質な場における2孔間（注入孔と揚水孔）の流線のパターンを想定し、一つ一つの流線上での濃度変化を積分したものを、揚水孔での濃度変化と考える。一つの流線上の点における濃度変化は、次式で示される。

$$C(S, t) = m \times \exp(-\eta^2 / 4\alpha\omega) / U(S_0) \sqrt{4\pi\alpha\omega}$$

ただし、S : 流線に沿った距離

t : 時間

$\alpha$  : 分散係数

$\eta = \tau(S) - t$

$\tau(S)$  : S点までの到達時間

$$\omega(t) = \int_{s_0}^{\bar{s}} ds / [U(S)]^2$$

$\bar{S}(t)$  : 時間tにおけるパルスの平均位置

U(S) : 流速

$m = M / 2\pi R w \omega$

Rw : 孔の半径

n : 有効間隙率

L : 2孔間の距離

また、ここで、 $\phi$  : 流れ関数を考慮して、各流線を積分すると、揚水孔の濃度は次のように表わされる。

$$C_w = (Q/M) \times \int_{\hat{\phi}=0}^1 Q \exp[-(a-T)^2 / 4\epsilon b] d\phi / nHL^2(4\pi\epsilon B)^{0.5}$$

$C_w$  : 揚水孔での濃度  $\hat{\phi} = \phi / (BQ / 2H) : B = 1$  H : 帯水層厚

Q : 注入、揚水量  $T = Qt / nHL^2$   $\epsilon = \alpha / L$

$a(\phi) = \pi(\sin\phi - \phi\cos\phi) / \sin^3\phi : \phi = \pi\hat{\phi}$

$b(\gamma, \phi) = \pi^2 [(\gamma + \phi) / 2 + (\sin\gamma\cos\gamma) / 2 + (\sin\phi\cos\phi) / 2 - 2\cos\phi(\sin\gamma + \sin\phi) + (\gamma + \phi)\cos^2\phi] / 2\sin^5\phi$

$\gamma$  : 時間tにおけるパルスの位置

である。揚水孔の濃度を求めるためには複雑な計算が必要であるが、次に示す3式の関係から容易に求めることができる。ここでは、無次元化した $\epsilon, C, T$ の関係が判っている。

$\epsilon = \alpha / L$	$C_w = C \times M / nHL^2$	$t = nHL^2 T / Q$
-------------------------	----------------------------	-------------------

ただし、 $\alpha$  : 分散長 (m)

L : 孔間距離 (m)

H : 帯水層厚 (m)

n : 有効間隙率

$C_w$  : 揚水孔における濃度 ( $g / m^3 = ppm$ )

M : トレーサー注入量 (g)

Q : 揚水量 ( $m^3 / day$ )

t : 時間 (day)

$\varepsilon = 0.2$ 、 $0.1$ 、 $0.05$ の場合の  $T$  と  $C$  の関係を以下表に示す。

$\varepsilon = 0.2$		$\varepsilon = 0.1$		$\varepsilon = 0.05$	
T	C	T	C	T	C
0.10	0.0000	0.10	0.0000	0.10	0.0000
0.20	0.0013	0.20	0.0000	0.20	0.0000
0.30	0.0205	0.30	0.0024	0.30	0.0000
0.40	0.0608	0.40	0.0213	0.40	0.0024
0.50	0.1031	0.50	0.0623	0.50	0.0200
0.60	0.1373	0.60	0.1125	0.60	0.0647
0.70	0.1619	0.70	0.1593	0.65	0.0955
0.80	0.1786	0.80	0.1971	0.70	0.1292
0.90	0.1895	0.90	0.2247	0.75	0.1635
1.00	0.1963	1.00	0.2436	0.80	0.1966
1.10	0.2012	1.10	0.2564	0.90	0.2543
1.20	0.2045	1.20	0.2636	0.95	0.2775
1.30	0.2055	1.30	0.2644	1.00	0.2966
1.40	0.2041	1.40	0.2592	1.05	0.3120
1.50	0.2005	1.50	0.2487	1.10	0.3241
1.80	0.1757	1.60	0.2344	1.15	0.3323
2.00	0.1590	1.70	0.2176	1.20	0.3363
2.50	0.1099	1.80	0.1996	1.25	0.3363
3.00	0.0760	1.90	0.1815	1.30	0.3325
3.50	0.0562	2.00	0.1642	1.40	0.3152
4.00	0.0444	2.50	0.1014	1.50	0.2889
4.50	0.0364	3.00	0.0707	1.60	0.2583
5.00	0.0308	3.50	0.0539	1.70	0.2275
5.50	0.0266	4.00	0.0433	1.80	0.1993
6.00	0.0232	4.50	0.0359	1.90	0.1748
6.50	0.0206	5.00	0.0305	2.00	0.1544
7.00	0.0184	5.50	0.0264	2.20	0.1242
7.50	0.0167	6.00	0.0232	2.50	0.0958
8.00	0.0152	6.50	0.0206	3.00	0.0690
9.00	0.0128	7.00	0.0185	3.50	0.0533
10.00	0.0110	7.50	0.0167	4.00	0.0431
		8.00	0.0152	4.50	0.0359
		8.50	0.0139	5.00	0.0306
		9.00	0.0128	5.50	0.0265
		10.00	0.0111	6.00	0.0233
				6.50	0.0207
				7.00	0.0186
				7.50	0.0168
				8.00	0.0153
				9.00	0.0130
				10.00	0.0112

ここで、 $t \sim Cw$  の関係を求めるには、まず、既知であるデータを 3 式に代入して、 $Cw \sim C$ 、 $t \sim T$  の関係式を得る。ある  $\varepsilon$  の値に対して、 $T \sim C$  の関係が判っているから（上表）、その値を  $Cw \sim C$ 、 $T \sim t$  の関係式に代入すれば、 $t \sim Cw$  の関係を求めることができる。

### 3. 地層科學技術開發

### 3. 1 広域地質環境評価のための断裂系調査

担当 小出 馨

#### 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分の立地にあたっては、我が国の地質環境特性の把握解明を全国規模で実施し、その適性を評価する必要がある。その基本条件の一つである岩体の安定性や水理地質特性は、岩体に発達する断裂系（岩体の破壊によって生じた断層や割れ目の総称）と密接に関係しているため、断裂系の分布とその特性を把握することは、地質環境を評価する上で重要である。

本調査は地質環境特性調査の一環として昭和63年度から開始されたもので、九州、四国及び中国地方の調査を終了している。本年度は、近畿及び中部地方を対象に調査を実施し、これらの地域の断裂系の分布特徴を明らかにした。また、得られたデータを基に中国、四国及び近畿地方の断裂系の密度分布について統計処理を試みた。

#### 2. 目的

地質環境特性調査の一環として断裂系（断層、節理等の割れ目）の分布状況を全国規模で把握するために必要な統一された判読基準による断裂系分布図を作成し、そのデータを基に断裂系に関する地質環境の適正評価手法を検討する。

#### 3. 実施内容

昨年度の九州、四国、中国地方に続き、今年度は近畿地方及び中部地方の一部を対象に1/4万白黒航空写真によるリニアメント判読を実施し、抽出されたリニアメントに対する分類（活断層、地質断層、その他）ならびに1/5万、1/20万、1/200万里ニアメント判読図及びリニアメント属性一覧表を作成した。（調査面積約4万4千km<sup>2</sup>：図-1参照）

また、全国を対象とした適性評価を実施する前段階として、断裂系の分布特性抽出に関する手法の検討を中国、四国、近畿地方を対象に実施した。

#### 4. 主な成果

##### (1) 航空写真による断裂系調査

近畿地方及び中部地方の判読解析により以下の知見が得られた。

##### ① 調査地域全域

- ・ 日本有数の活断層密集地帯である近畿及び中部地方の断裂系の分布状況及び地質との関係が明らかになった。
- ・ 両地域において合計4290本のリニアメントを抽出し、その内812本（全体の約19%）が活断層に分類された。（西日本は約10%）

## ② 近畿地方

- ・ リニアメントの分布密度は、中央構造線によって境される西南日本内帯と外帯との間で差が見られ、一般に内帯はリニアメントの分布密度が高く且つ連続性に富むものが多いのに対し、外帯は分布密度が低い。
- ・ 活断層に分類されたリニアメントは、1/20万地勢図の「京都及び大阪」「和歌山」「宮津」の範囲で多数分布する。
- ・ 丹波帯及び舞鶴帯の堆積岩分布地域は内帯に位置しているが、そのリニアメント密度は比較的低い傾向を示す。
- ・ 外帯の中でも特に四万十帯中の牟婁層群の堆積岩分布地域は、極めて低いリニアメント分布密度を示す。

## ③ 中部地方

- ・ 本地域は、日本でも主要な活断層分布地域であるが、特に濃飛流紋岩分布地域に非常に多くの活断層、地質断層に分類されるリニアメントが分布する。
- ・ 阿寺断層が通る地域では、それに直交する方向の北東-南西方向に長く連続するリニアメントが多数分布するが、これらのリニアメントは岩盤物性の違いを反映してか、中・古生層地域にまで延びない傾向を示す。
- ・ 同じ花崗岩類でも木曾山脈と飛騨山脈とではリニアメント分布密度が異なり、木曾山脈の方が分布密度が高い。
- ・ グリーンタフ及び新第三紀堆積岩が分布する越後平野一帯の丘陵地帯には、信濃川に沿って北東-南西方向の活断層に分類されるリニアメントが多数分布する。また、佐渡島においても島の伸長方向である北東-南西方向の活断層に分類されるリニアメントが見られる。

## (2) 断裂系の分布特性抽出に関する手法の検討

1/20万地勢図を評価単位として、リニアメント分布密度（本数/1/5万地形図）を求め、地質及び地質構造区との対比を行い、以下の結果が得られた。（図-2、3、4参照）

- ・ 1/20万地勢図を評価単位としても地質構造区毎（内帯、外帯等）の断裂系の分布特性の違いを読み取ることができた。
- ・ 全リニアメント（活断層+地質断層）の分布密度と地質との対応は比較的良好であった。
- ・ 活断層に分類されたリニアメントの分布密度と地質との関係は見い出されなかった。
- ・ 地質断層に分類されたリニアメントの分布密度と活断層に分類されたリニアメントの分布密度との間には相関が認められなかった。（相関係数=0.07）
- ・ リニアメントの本数を分布密度とする方法の問題点としては、地域毎でリニアメントの連続性が極端に異なる場合、正しい評価が得られない点が挙げられる。

## 5. 今後の予定

- 航空写真による断裂系調査を中部日本東域、東北日本、北海道の順に継続し、断裂系の分布状況を明らかにする。
- 断裂系の分布特性に関する解析手法の検討を実施し、断裂系に関する地質環境の適性評価方法を開発していく。
- 広域地下水流動調査と共同で断裂系の分布データと地表及び試錐データとを総合した岩盤の三次元的な割れ目の評価手法についての検討を行う。

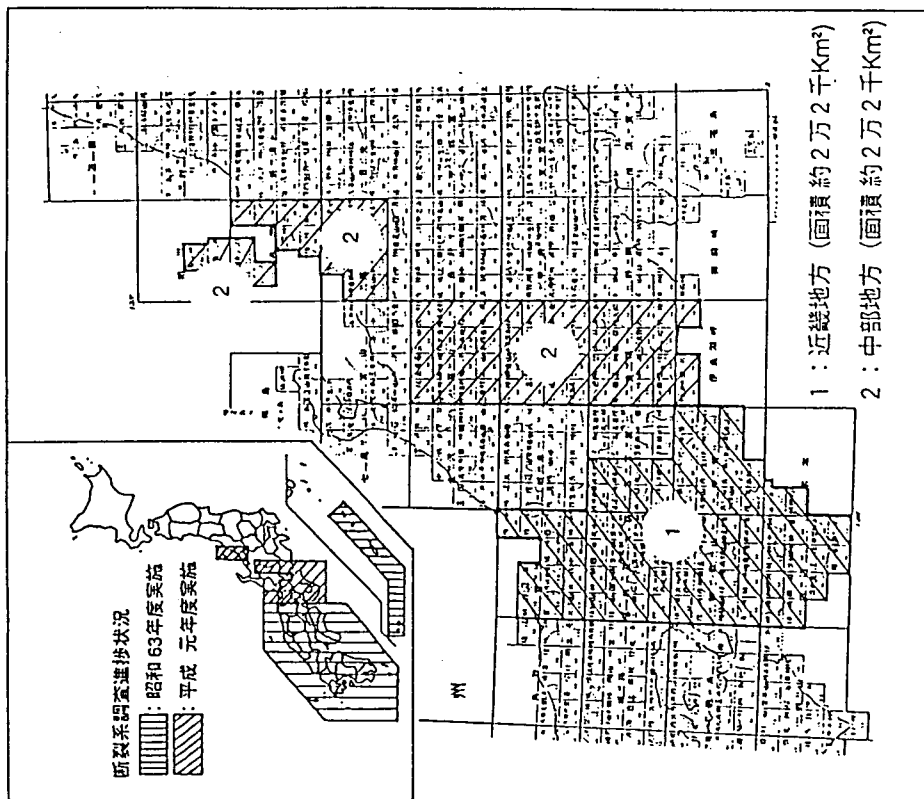


図-1 平成元年度断裂系調査対象地域位置図

活断層十地質断層

大社	24.0	松江	17.1	鳥取	30.7	宮津	34.3
浜田	42.0	高梁	47.4	姫路	41.6	京都及大阪	27.3
広島	57.9	岡山及び心	47.6	徳島	26.5	和歌山	13.1
松山	30.3	高知	23.7	刺山	5.3	田辺	14.4
宇和島	27.5	窪川	26.7				

各図幅毎のリニアメント密度 (本数/15万地形図)

活断層

大社	3.3	松江	4.0	鳥取	1.9	宮津	6.3
浜田	1.5	高梁	1.6	姫路	4.1	京都及大阪	6.7
広島	4.6	岡山及び心	2.9	徳島	15.4	和歌山	6.6
松山	2.0	高知	1.8	刺山	3.3	田辺	1.0
宇和島	1.4	窪川	0.0				

各図幅毎のリニアメント密度 (本数/15万地形図)

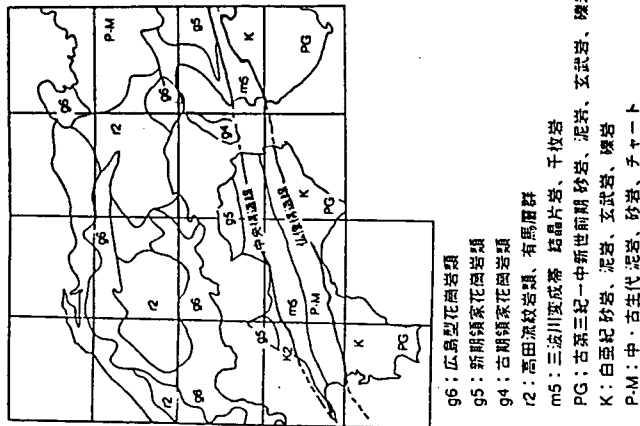
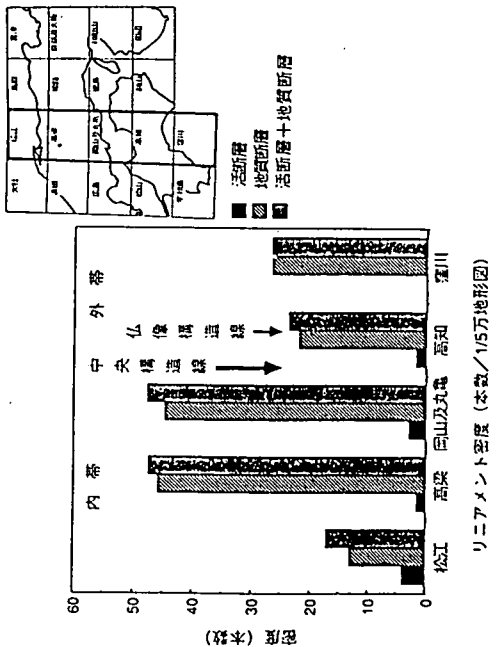
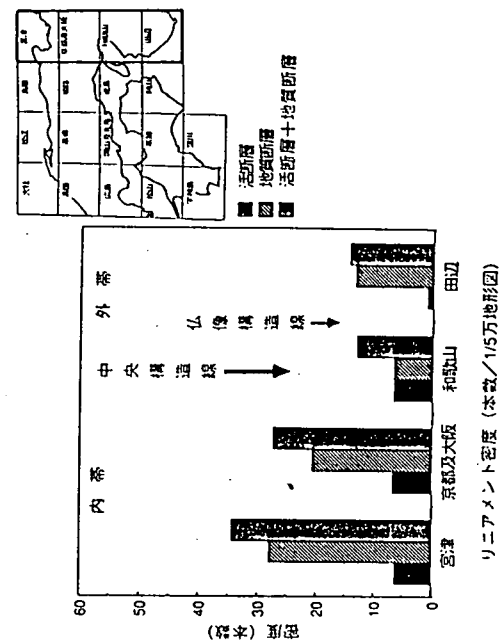
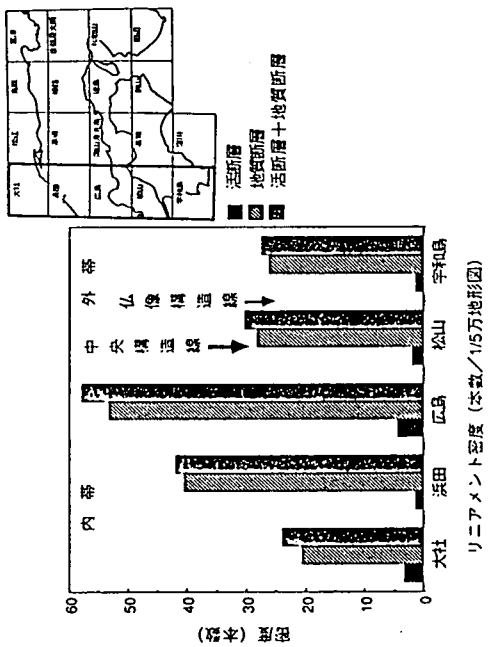
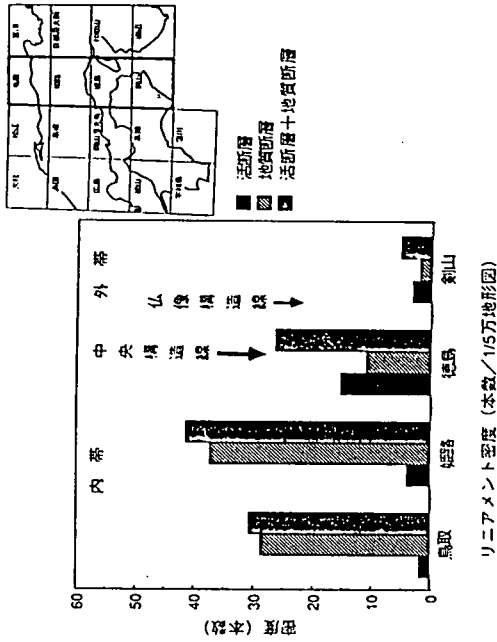


図-3 対象地域の地質概況



図一4 西南日本外帯と内帯とのリニアメント密度の比較



## 3. 2 レーダ法による岩盤特性調査

### － A N 1 号孔及び A N 3 号孔における予備調査 －

担当 仙波 毅

尾方 伸久（環境地質課）

#### 1. はじめに

我が国の地層処分において花崗岩は重要な岩種の一つである。その性能評価に必要な深部地下における水理特性については、他の国々に比べまだデータは十分でなく不明な点が多い。我々の目標はその特性を明らかにすることに加え、そのための効率的で精度の高い、すなわち最適な調査手法を確立することにある。現在は、その水理特性を把握するため様々な手法を適用する段階にある。そのような手法の中で、レーダ法は岩盤の水理パラメータの空間的分布を知るうえで、現在最も実用的で有力な手段の一つと考えられているものである。

レーダ法は、波長の短い電磁パルスを送信させ、電磁波の速度や減衰の変化に着目して、岩盤中の割れ目の方向や幅を調査する方法である。電磁波は岩盤内で透過力が強く、岩盤物性変化に対する特性変化が大きいことなどから、この方法は地質環境を限られた場所から非破壊的に詳細な調査を行うのに適した手法の一つであると考えられる。

動燃事業団は、スウェーデン廃棄物管理公社（SKB）が開発した、試錐孔内用レーダシステム（RAMAC）を昭和63年度導入し、平成元年度RAMACシステムを用いてAN1号孔においてシングルホール（反射法）試験、AN1号孔およびAN3号孔においてクロスホール（透過法）試験を実施し、それらの結果と岩芯観察結果、物理検層結果との比較検討を試みた。

#### 2. RAMACシステム

RAMACシステムは、OECD/NEAの高レベル放射性廃棄物処分に関するストリパプロジェクトの機器開発の一環として開発された孔内用レーダ法機器であり、次の5つのパートから成る。

- (1) マイクロコンピュータ・・・20MByteハードディスクと5インチフロッピーディスクを持つ、測定制御、データ保存、データ表示、データ解析装置。
- (2) コントロールユニット・・・サンプリングのタイミングとスタッキング制御装置。
- (3) トランスミッタ・・・波長の短いレーダパルス発信装置。
- (4) レシーバ・・・レーダパルス受信とデジタイズ装置。
- (5) ケーブルウインチ・・・プローブとコントロールユニットを接続し、光ファイバケーブルを持ったモータ駆働の装置。

また、このシステムの特徴として次の6つが挙げられる（佐久間・坪田、1988）。

- (1) トランスミッタとレシーバは、直接接続しておらず、どちらのプローブもコントロールユニットと接続されている。よって、シングルホールとクロスホールの両方で使用可能である。

- (2) プローブから地表機器へのデータの転送は、光ファイバーケーブルを用い、ケーブルを伝わるノイズをなくしている。
- (3) ダイナミックレンジは150dBであり大きい。
- (4) システムの利得は正確にキャリブレーションが可能であり、電磁波の減衰に関するトモグラフィ処理が可能である。
- (5) 電磁波伝播速度を絶対時間で測定できるので、電磁波の速度に関するトモグラフィ処理が可能である。
- (6) 生データをリアルタイムで出力することができ、測定現場でデータの品質管理や結果の検討ができる。

ここでトランスミッタとレシーバのブロックダイアグラムをFig. 2.1に、RAMACシステムの詳細な技術的仕様をTable 2.1にそれぞれ示す。

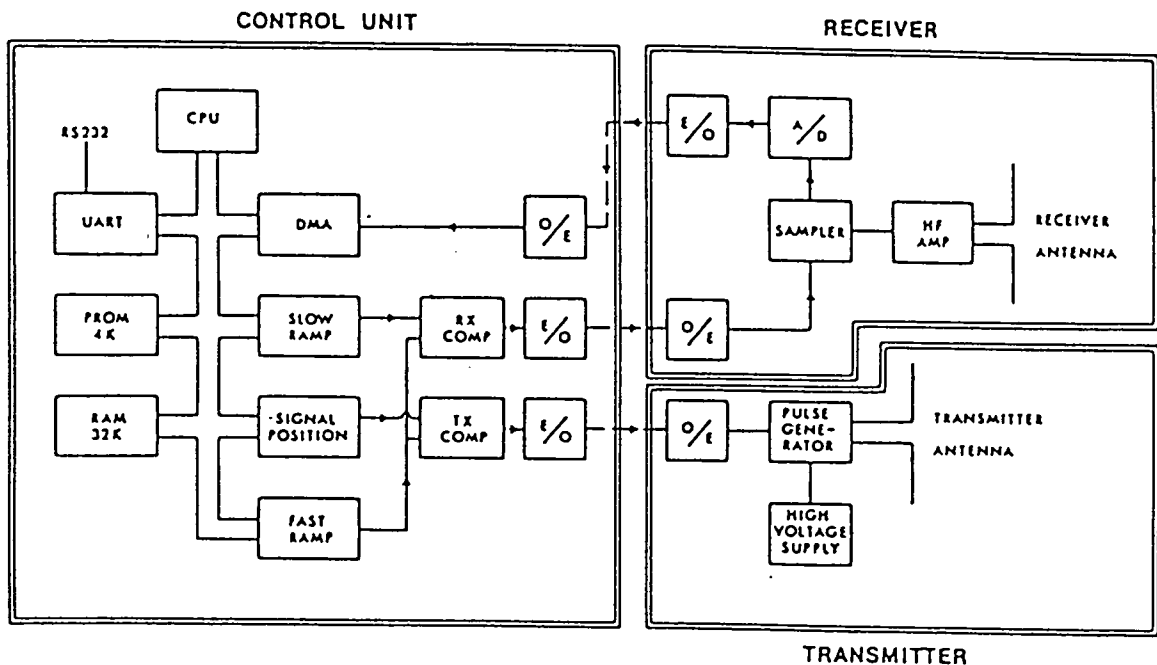


Fig. 2.1 RAMACシステム構成図

Table. 2. 1 RAMACシステムの技術的仕様

<u>General</u>	
Frequency range	20-80 MHz
Total dynamic range	150 dB
Sampling time accuracy	1 ns
Maximum optical fiber length	1000 m
Maximum operating pressure	100 Bar
Outer diameter of transmitter/receiver	48 mm
Minimum borehole diameter	56 mm
<u>Transmitter</u>	
Peak power	500 W
Operating time	10 h
Length	4.8 m
Weight	16 kg
<u>Receiver</u>	
Bandwidth	10-200 MHz
A/D converter	16 bit
Least significant bit at antenna terminals	1 $\mu$ V
Data transmission rate	1.2 MB
Operating time	10 h
Length	5.4 m
Weight	18 kg
<u>Control unit</u>	
Microprocessor	RCA 1806
Clock frequency	5 MHz
Pulse repetition frequency	43.1 KHz
Sampling frequency	30-1000 MHz
No of samples	256-4096
No of stacks	1-32767
Time window	0-11 $\mu$ s

### 3. シングルホール調査

#### 3-1 目的

RAMACシステムを用いてシングルホール調査を実施し、岩盤特性変化に対する電磁波の伝播特性変化を調べる。

#### 3-2 調査方法

RAMACシステムには中心周波数が20MHzのアンテナと60MHzのアンテナの2種類がある。この2種類のアンテナを用いて、正馬様洞ANI号孔においてシングルホール調査を実施した。

シングルホール調査は、トランスミッタとレシーバを同一孔内に降ろし、一定間隔でプローブを下降あるいは上昇させたときそれぞれ測定を行い、反射面の方向や連続性を調べる方法である。(佐久間・坪田、1988)。ここで反射面としては、割れ目帯あるいは岩盤の比抵抗の変化によるもの等が考えられる。このとき、トランスミッタとレシーバはグラスファイバー棒で接続され一定間隔に保たれている。

反射面の方向と連続性は、トランスミッタで発信された電磁波が反射面で反射しレシーバで受信されたとき、その伝播時間と、そのときのプローブの位置をそれぞれ求めることにより求められる。

Fig. 3.1に電磁波が反射面で反射したときの様子と解析結果の模式図を示す。

図に示すように孔と反射面が交差していれば、解析結果はハの字型となって現れる。

アンテナの中心周波数が20MHz、60MHzのどちらについても、トランスミッタとレシーバ間のグラスファイバ棒の長さを4mとし、それぞれについて深度450m～975mまで1m毎に調査を実施した。

得られたデータを解析し、岩芯観察結果および物理検層結果との比較を試みた。

Fig. 3.2に孔内に降ろしたときのプローブの様子を示す。

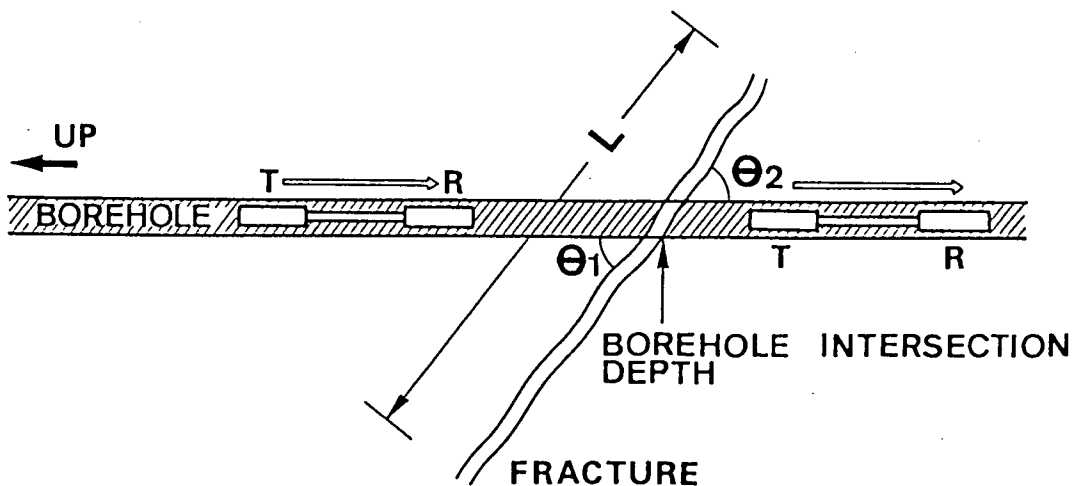
Table 3.1とTable 3.2にそれぞれのアンテナを用いたときの測定仕様を示す。

Table. 3. 1 測定仕様 (中心周波数20MHzアンテナ)

Sampling frequency:	253.883 MHz
Number of samples:	512
Number of stacks:	128
Transmitter receiver separation:	9.3 m
Measurement point separation:	1 m
Logged depth:	450-975 m
Total number of measured traces:	526

Table. 3. 2 測定仕様 (中心周波数60MHzアンテナ)

Sampling frequency:	632.4526 MHz
Number of samples:	512
Number of stacks:	256
Transmitter receiver separation:	9.3 m
Measurement point separation:	1 m
Logged depth:	450-975 m
Total number of measured traces:	526 m



- $L$  : Minimum total length of fractur zone
- $\Theta_1$  : Intersection angle (upper)
- $\Theta_2$  : Intersection angle (lower)

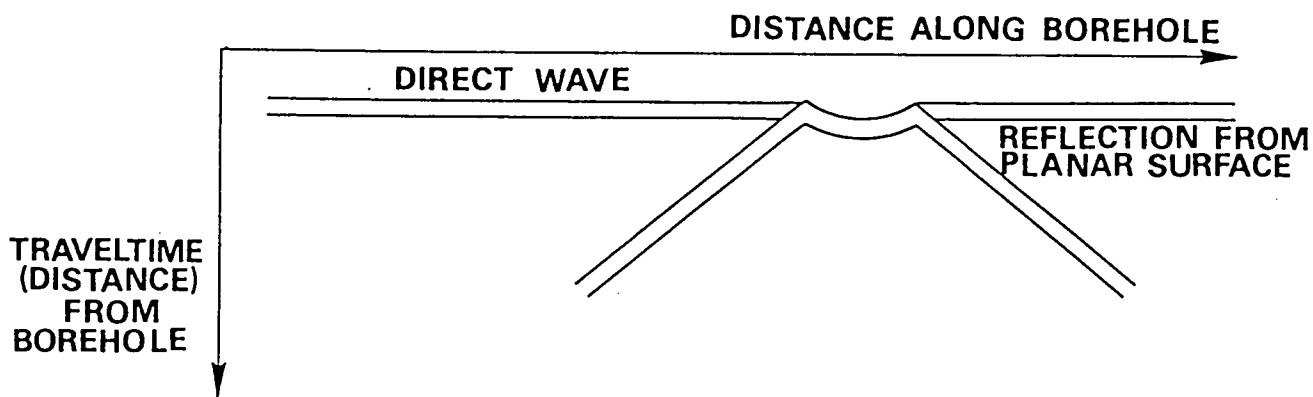


Fig. 3. 1 電磁波が反射面で反射したときの様子と解析結果の模式図

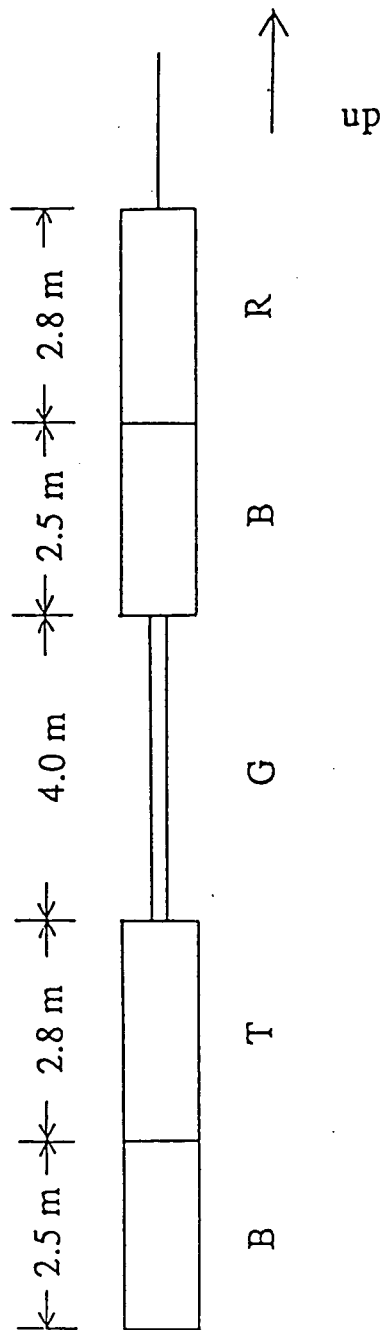


Fig. 3. 2 RAMACプローブ

R : レシーバ      T : トランスミッタ  
 B : バッテリー    G : グラスファイバ棒

### 3-3 調査位置

岐阜県瑞浪市正馬様洞 A N 1 号孔深度450m～975m。

### 3-4 調査期間

20MHz アンテナ：1989年4月19日（水）～4月21日（金）

60MHz アンテナ：1990年1月10日（水）～1月11日（木）

### 3-5 調査結果

Table. 3. 1 の仕様で測定した結果を Fig. 3. 3（中心周波数20MHz）に Table. 3. 2 の仕様で測定した結果を Fig. 3. 4（中心周波数60MHz）にそれぞれ示す。Fig. 3. 3 および Fig. 3. 4 の縦軸は深度、横軸は往復伝播時間および岩盤内を伝播する電磁波の速度が  $120\text{m}/\mu\text{sec}$  で一定であるとしたときの片道伝播距離を示している。なお Fig. 3. 3 は 10MHz～45MHz のバンドパスフィルタ処理後の結果であり、Fig. 3. 4 は 25MHz～217MHz のバンドパスフィルタ処理後の結果である。

レーダ反射図（Fig. 3. 3、Fig. 3. 4）は、例えば Fig. 3. 5 のような波形を深度順に並べ、その振幅の大きさにより、色の濃淡を表した図である。色の濃淡は各波形について Fig. 3. 6 のように表示される。例えば振幅が  $-100\text{units}$  より小さければ白で、 $100\text{units}$  より大きければ黒で表示される。

Fig. 3. 3 より Na. 1～Na. 21 の反射面が、また Fig. 3. 4 より Na. 1～Na. 73 の反射面が認められるが、それぞれの反射面が試錐孔と交差する深度と図で見掛け上反射面が消えると思われる深度との間隔（Fig. 3. 7 の区間 a）、および見掛け上反射面が消えると思われる深度における片道伝播距離（Fig. 3. 7 の区間 b）により、試錐孔と反射面とのなす角を求めることができる。

Fig. 3. 3 および Fig. 3. 4 について、各々の反射面が試錐孔となす角を Table. 3. 3 および Table. 3. 4 にそれぞれ示す。反射面の傾斜角度は、90度からこの値を引けば求められる。Table. 3. 3 および Table. 3. 4 における、upper および lower とはレーダ反射図においてそれぞれ上向きに認められるものおよび下向きに認められるものを示す。minimum total length of fracture zone とは反射図において解析できる、反射面の最小の長さを示し、upper と lower の両方が認められたものについては、その長さの合計を求めた。

レーダ反射図（Fig. 3. 3、Fig. 3. 4）によると、深度450m～575mと深度800m以深で図が乱れているが、この部分は破碎帯等の低比抵抗帯であると思われる。

レーダ反射図における片道伝播距離によれば、レーダ法により調査できる範囲は、中心周波数60MHzのアンテナを使用した場合に比べて、中心周波数20MHzのアンテナを使用した場合のほうが広いことがわかる。Fig. 3. 8 と Fig. 3. 9 に中心周波数20MHzのアンテナを使用した場合の波形例と中心周波数60MHzのアンテナを使用した場合の受信波形例を、Fig. 3. 10 と Fig. 3. 11 に Fig. 3. 8 と Fig. 3. 9 の周波数スペクトルをそれぞれ示す。なおどちらも深度750mで受信された波形である。Fig. 3. 8～Fig. 3. 11によれば中心周波数60MHzのアンテナを使用した場合は、中心周波数20MHz



H z のアンテナを使用した場合に比べて細かな情報を捕らえることができる (Fig. 3. 8, Fig. 3. 9)。レーダ反射図は、それぞれの深度における波形の振幅の大小を色の濃淡で示した図であることから中心周波数60M H z のアンテナを使用したほうが詳細な調査が可能となる。

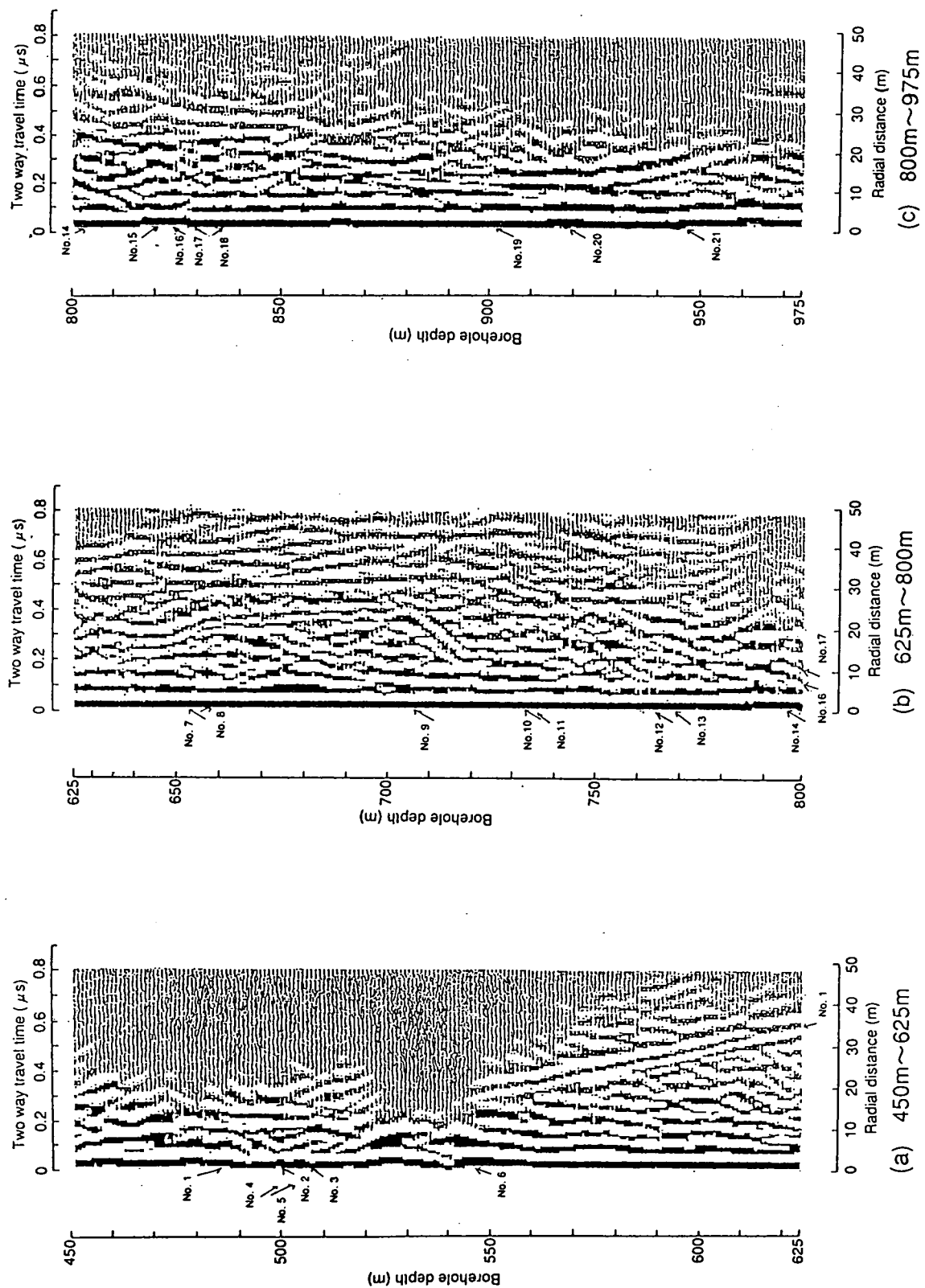


Fig. 3.3 レーダ反射図

(中心周波数20MHzアンテナ; 10MHz~45MHzのバンドパスフィルタ処理後)

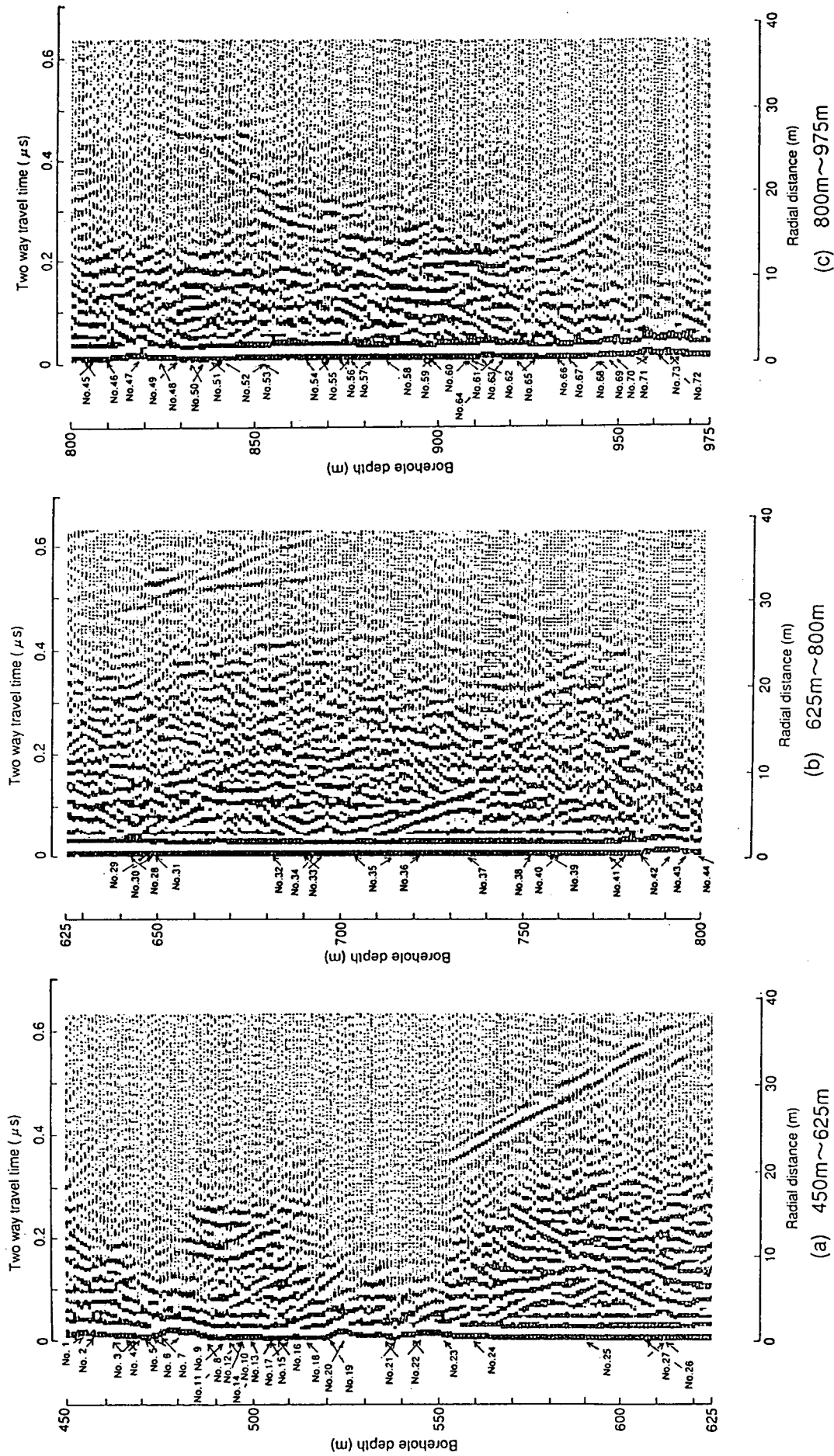


Fig. 3.4 レーダ反射図  
 (中心周波数60MHzアンテナ; 25MHz~217MHzのバンドパスフィルタ処理後)

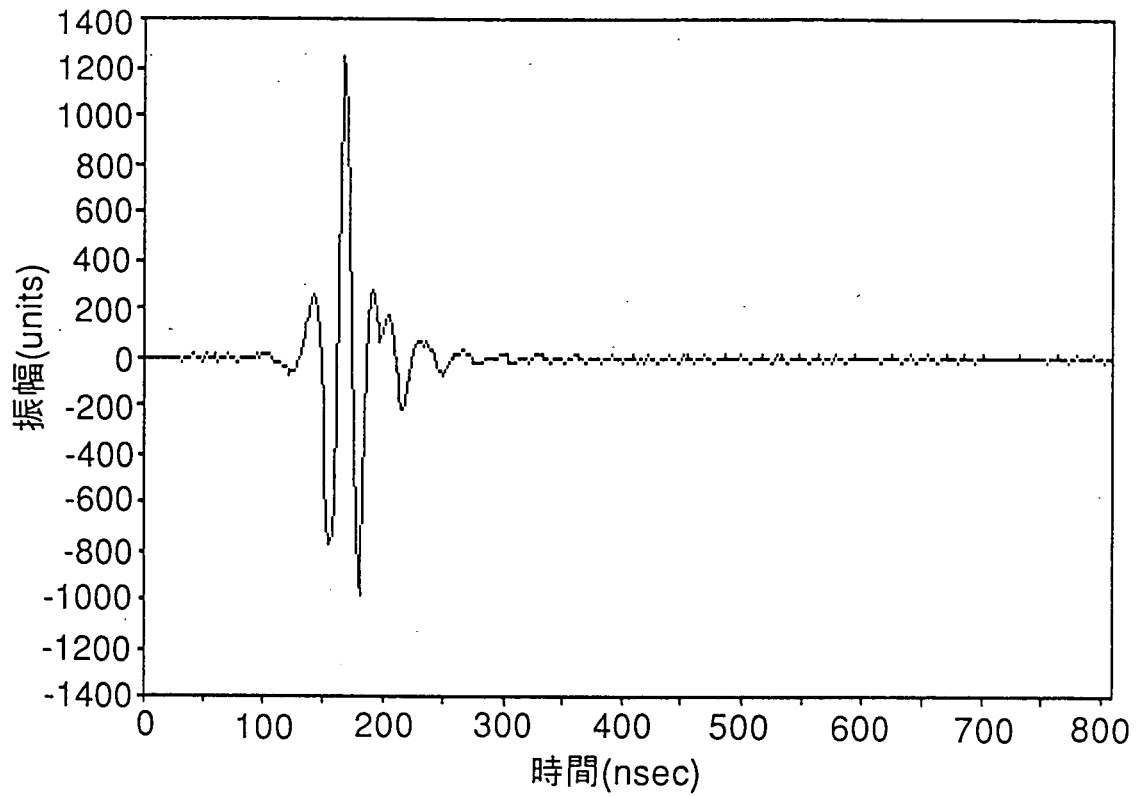


Fig. 3. 5 受信波形例

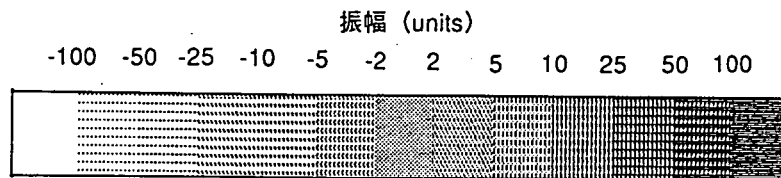


Fig. 3. 6 振幅の大きさに対するレーダ反射図の表示色

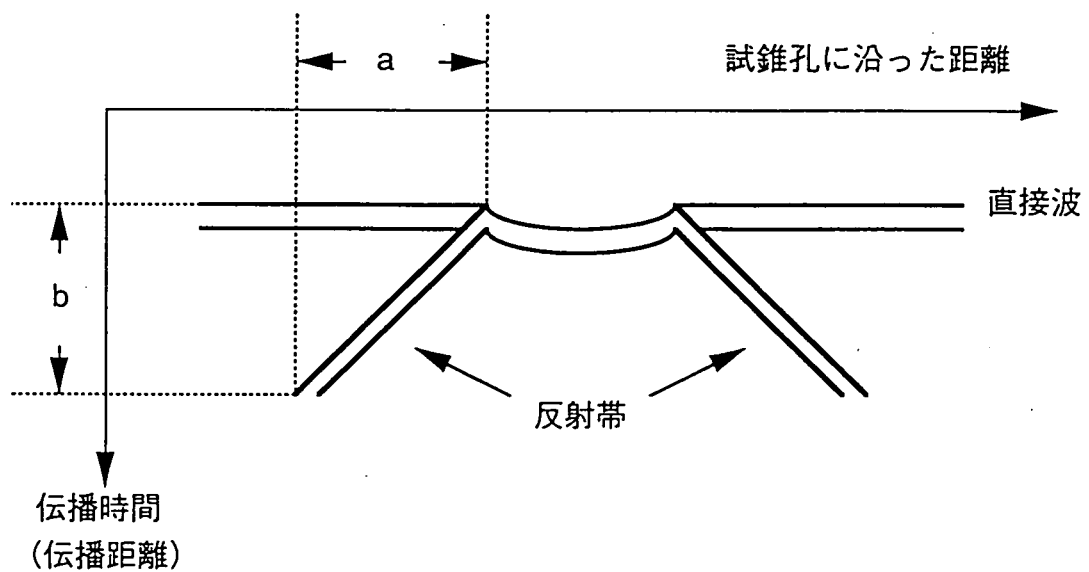


Fig. 3. 7 試錐孔と反射面とのなす角説明図

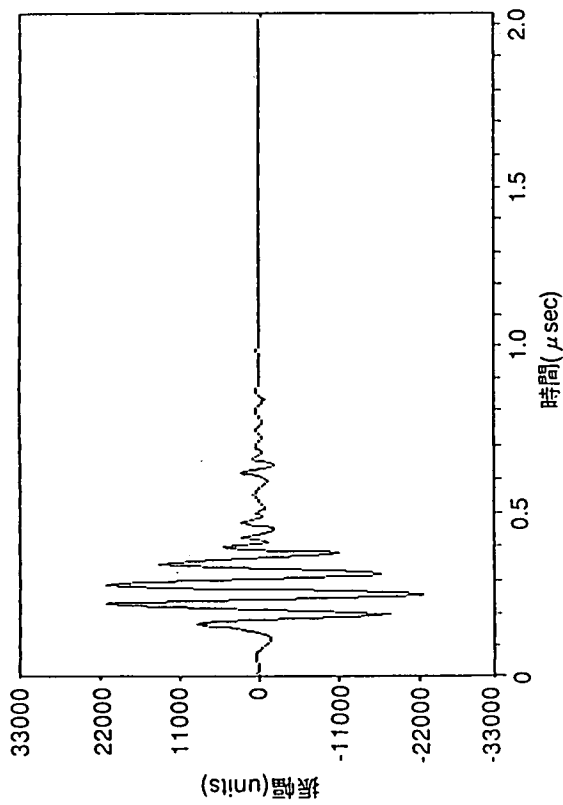


Fig. 3.8 受信波形 (中心周波数20MHzアンテナ; 深度 750m)

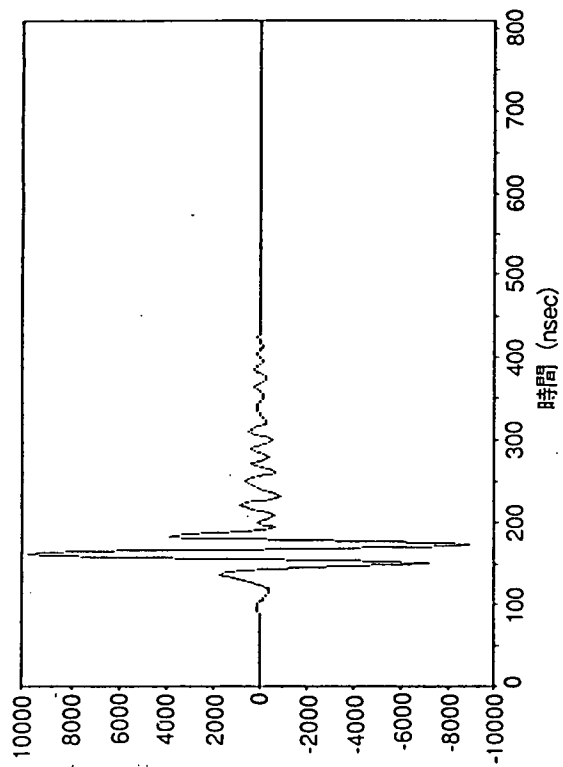


Fig. 3.9 受信波形 (中心周波数60MHzアンテナ; 深度 750m)

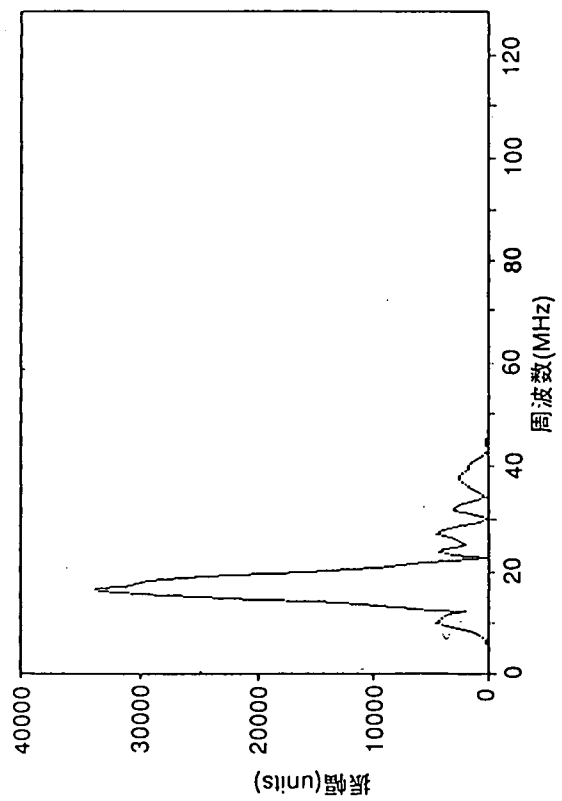


Fig. 3.10 周波数スペクトル (中心周波数20MHzアンテナ; 深度 750m)

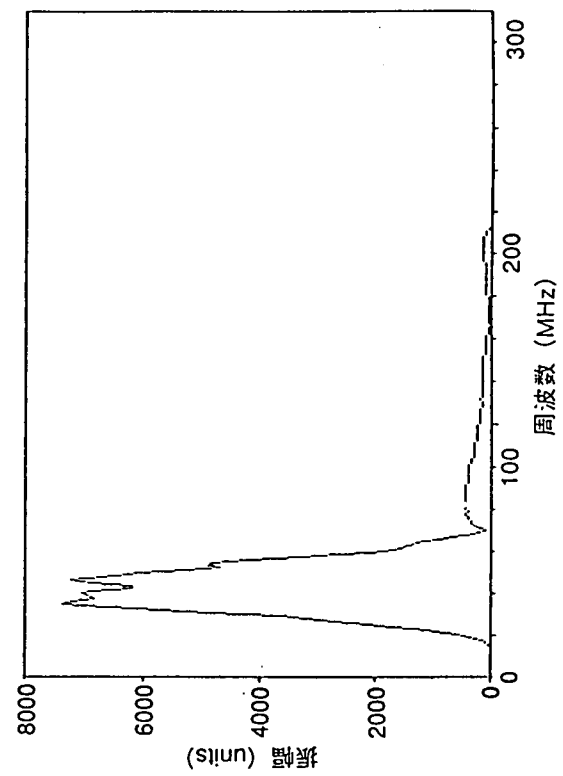


Fig. 3.11 周波数スペクトル (中心周波数60MHzアンテナ; 深度 750m)

Table. 3. 3 各々の反射面が試錐孔と交差する深度，試錐孔となす角  
及び反射面の長さ（中心周波数20MHzアンテナ）

Reflector No.	Borehole intersection depth (m)	Minimum total length of fracture zone (m)	Intersection angle (degree)	
			upper	lower
1	488	136		4
2	500	46	39	
3	506	35	85	
4	510	55		50
5	515	86		12
6	544	55	2	
7	645	29	38	
8	654	64		12
9	708	57	24	
10	730	49	23	
11	733	22	72	
12	763	32	20	
13	768	32	56	
14	800	131	14	16
15	821	27		14
16	822	66	6	
17	825	68	13	
18	837	39		32
19	901	62	6	
20	918	35	23	
21	946	37	24	

Table. 3. 4 各々の反射面が試錐孔と交差する深度, 試錐孔となす角  
及び反射面の長さ (中心周波数60MHzアンテナ) (No. 1)

Reflector No.	Borehole intersection depth (m)	Minimum total length of fracture zone (m)	Intersection angle (degree)	
			upper	lower
1	453	185		2
2	455	64		13
3	466	26	16	12
4	470	19	11	8
5	471	20	7	
6	476	200	3	3
7	477	23	13	
8	488	26	49	
9	492	66		21
10	495	35	34	
11	497	88		5
12	498	49		14
13	500	35	48	
14	505	55		2
15	505	53	14	
16	507	48	26	
17	509	77		12
18	515	61	6	
19	522	16	73	
20	524	42		43
21	537	106	20	16
22	545	128	26	18
23	552	73	17	
24	561	42	36	
25	592	139	3	
26	609	134	4	
27	612	150	9	16
28	644	23	51	
29	646	73		20
30	648	89		14
31	650	75	4	
32	683	48	40	
33	692	156	19	13
34	697	117		2
35	710	165	11	10
36	721	85		10

Table. 3. 4 各々の反射面が試錐孔と交差する深度，試錐孔となす角  
及び反射面の長さ（中心周波数60MHzアンテナ）（No. 2）

Reflector No	Borehole intersection depth (m)	Minimum total length of fracture zone (m)	Intersection angle (degree)	
			upper	lower
37	736	86	14	
38	753	17		37
39	757	109	5	
40	759	114	17	12
41	777	114	17	17
42	788	117	23	19
43	794	51		8
44	799	197	3	
45	804	114	17	28
46	809	42	34	
47	817	27		21
48	824	56	32	
49	827	17		19
50	834	31	66	72
51	840	94	6	7
52	842	71	3	
53	853	92	6	10
54	867	97	7	9
55	872	52	30	34
56	874	33	24	
57	879	114	8	5
58	887	64	6	
59	897	127	3	4
60	905	83	11	17
61	912	120	7	13
62	912	87	2	
63	914	38	16	
64	917	19		36
65	924	129	6	11
66	934	88	3	
67	938	64	8	
68	946	101	7	13
69	949	38	13	
70	951	32	25	
71	957	119	3	3
72	963	59	6	
73	966	59	9	9



### 3-6 考 察

レーダ反射図において電磁波の岩盤内伝播距離の短くなっているところは、地質的にはどのような場所なのか、またレーダ反射図において認められる反射図はどのようなものなのかを調べるために、レーダ反射図と岩芯観察結果との比較を試みた（仙波・尾方・坪田，1989；仙波・尾方・坪田・大澤，1989；吉田・大澤・柳澤・山川，1989）その結果をFig. 3.12に示す。図は左より、中心周波数20MHzアンテナによるレーダ反射図，中心周波数60MHzアンテナによるレーダ反射図，岩芯観察結果となっている。各々の図において深度は一致している。レーダ反射図はそれぞれFig. 3.3，Fig. 3.4と同じものである。岩芯観察結果は5つのブロックに分かれており、左から①地質柱状図，②割目によるブロック化をした部分・変質帯・破碎帯の位置と幅，③②の深度，④連続の割れ目と不連続の割れ目それぞれの岩芯1mあたりの割れ目の本数，⑤RQD，⑥岩芯記載がそれぞれ示されている。ここで②の割れ目によるブロック化とは、割れ目が非常に発達しておりコア採集時にコアがばらばらになってしまった部分であり、⑤のRQDは、

$$RQD = \frac{10\text{cm以上のコアの総長}}{1\text{m掘進長}(1\text{m})} \times 100 \quad \text{で示している。}$$

なお、記載の対象とする割れ目は、岩芯において見られる割れ目のうち掘削以前に既に岩盤内において割れ目として存在していたと判断されるものであり、掘削の際に新たに人工的に生じたと判断されるような割れ目は記載の対象とされない。

岩芯観察結果によると割れ目の数は深度450m～575mで多くなっているが、この深度のレーダ反射図を見ると電磁波の透過距離は短くなっている。また割れ目の数は深度800m以深で再び多くなっているが、レーダ反射図をみると深度450m～575mと同様に電磁波の透過距離は短くなっている。逆に割れ目の数の少ない深度700m～775mでは、電磁波の透過距離は長くなっている。このように、レーダ反射図を見ることによってその深度における割れ目の多さを定性的に知ることができる。

レーダ反射図において、顕著な反射面は20MHzのアンテナを使用した結果についてはNo.1，60MHzのアンテナを使用した結果についてはNo.6であり、解析深度に多少の相違はあるが（Table. 3.3，Table. 3.4）、同一のものと考えられる。この反射面の深度には破碎帯が存在しており（Fig. 3.12）、破碎帯を捕らえている可能性がある。他の反射面についても、特に60MHzのアンテナを使用した結果についていえば、反射面が検出された深度は、岩芯観察結果において破碎帯，変質帯，その他RQD値が低くなっている深度であるため、レーダ反射図における反射面はこれらをつかっているとと思われる。しかしながら現在のところ、岩盤内のどのような部分が検出されているのかは断定できない。

次に、レーダ法により調査できる範囲は岩盤のどのような物性に影響を受けるのかを確かめるために、電磁波の岩盤内透過距離と物理検層結果との比較を試みた。ここで透過距離は、受信波形の振幅が100 unitsより大きいものが見える片道の最長伝播距離とし、レーダ反射図より深度33mから975mまで1m毎に読み取った（Fig. 3.13）。これはレーダ反射図で反射面が確認できる距離とは異なる。深度33mから

449mまでの透過距離は、昭和63年度のRAMAC導入時に実施された適用試験結果による。

Fig. 3.14に、各々の深度における中心周波数60MHzのアンテナを使用した場合の透過距離と中心周波数20MHzのアンテナを使用した場合の透過距離との関係を示す。図によれば、中心周波数20MHzのアンテナを使用した場合、調査できる範囲は中心周波数60MHzのアンテナを使用した場合の1.5～2倍となることがわかる。

電磁波が低比抵抗帯を通過すれば、電磁波の振幅は減衰し透過距離は短くなると考えられるため、電気検層による見掛比抵抗と電磁波の片道透過距離との関係を調べた。その結果をFig. 3.15～Fig. 3.18に示す。Fig. 3.15とFig. 3.16の片道透過距離は中心周波数20MHzのアンテナを使用したときの結果であり、Fig. 3.17とFig. 3.18の片道透過距離は中心周波数60MHzのアンテナを使用したときの結果である。また、Fig. 3.15とFig. 3.17の見掛比抵抗はShort Normal (25cm)の電気検層により、Fig. 3.16とFig. 3.18の見掛比抵抗はLong Normal (100cm)の電気検層による。

図より片道透過距離は見掛比抵抗と正の相関があり、電磁波により岩盤内を調査する場合、調査できる範囲は岩盤の比抵抗に大きな影響を受け、岩盤の見掛比抵抗が判ればこの岩盤における調査範囲を知ることができる。

測定点は全て地下水面より深部に位置しており、岩盤内の孔隙は水で満たされていると考えられる。孔隙率が高ければ、その岩盤に含まれる水の量は多いと考えられるため、孔隙率(岩盤内の水の量)が電磁波の岩盤内透過距離にどのような影響を及ぼすかを調べた。結果をFig. 3.19とFig. 3.20に示す。Fig. 3.19の片道透過距離は中心周波数20MHzのアンテナを使用したときの結果であり、Fig. 3.20の片道透過距離は中心周波数60MHzのアンテナを使用したときの結果である。孔隙率は、中性子検層結果より算出した値である。

図によれば孔隙率が7～10%程度までは透過距離は長くなる可能性があるが、それより大きくなれば電磁波により調査する場合、調査範囲は狭くなることがわかる。

上記2点の傾向が他の試錐孔でも認められるかどうかを調べた。

Fig. 3.21～Fig. 3.23に物理検層結果とAN3号孔において中心周波数60MHzのアンテナを使用したときの片道透過距離との関係を示す。Fig. 3.21の横軸はShort Normalの電気検層による見掛比抵抗、Fig. 3.22の横軸はLong Normalの電気検層による見掛比抵抗、Fig. 3.23の横軸は中性子検層による孔隙率である。縦軸は全ての図について片道透過距離となっており、これは昭和63年度RAMAC導入時に実施された適用試験のデータより求めた。この求め方はAN1号の場合と同様である。

図によれば、AN3号孔の結果についてもAN1号孔の結果と同様であることがわかる。しかしながら、見掛比抵抗の値の大きな部分および孔隙率の値の小さな部分において、AN1号孔における結果と比較して大きな片道透過距離を取らなくなっている。

AN3号孔のRQD値は比較的小さくなっており、またAN3号孔の掘削深度は400mであることよりAN1号孔浅部(深度33～300m)の結果を用いて見掛比抵抗および孔隙率と片道透過距離との関係を調べてみた。その結果をFig. 3.24～Fig. 3.26

に示す。片道透過距離は、中心周波数60MHzのアンテナを用いた結果である。これらはAN3号孔における結果と同様の結果を示している。

中心周波数60MHzのアンテナを用いた場合のレーダ反射図は、破碎帯、変質帯、その他RQD値が低くなっている深度において反射面を捕らえており、反射面は岩盤内部へ連続していることがわかる。このように反射面が存在すれば、これに沿って岩盤内部へ低比抵抗帯が分布していると考えられる。電磁波は、低比抵抗帯を通過すれば減衰するため透過距離は短くなる。このような理由でAN3号孔において電磁波の透過距離は短くなったと考えられる。

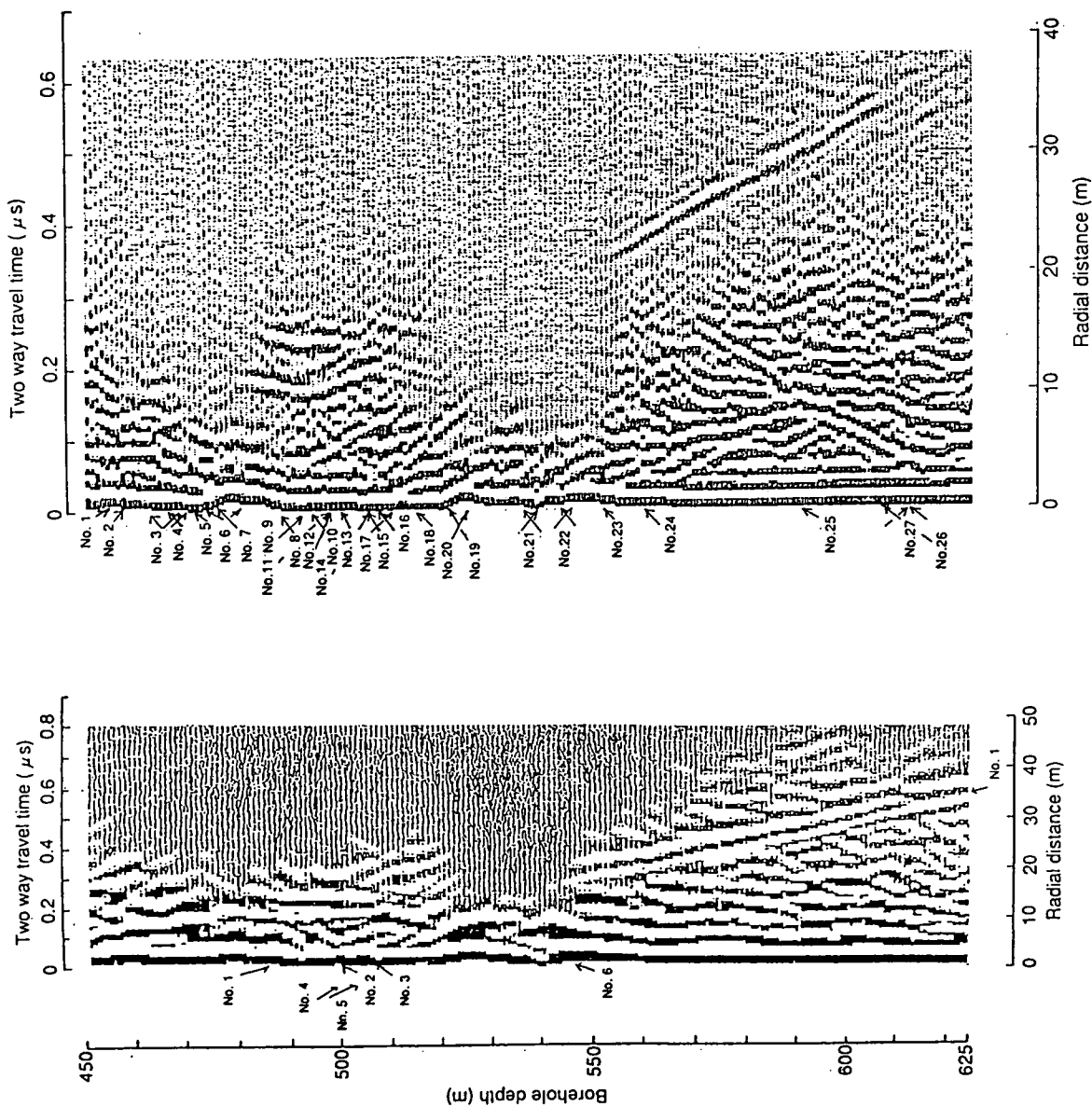
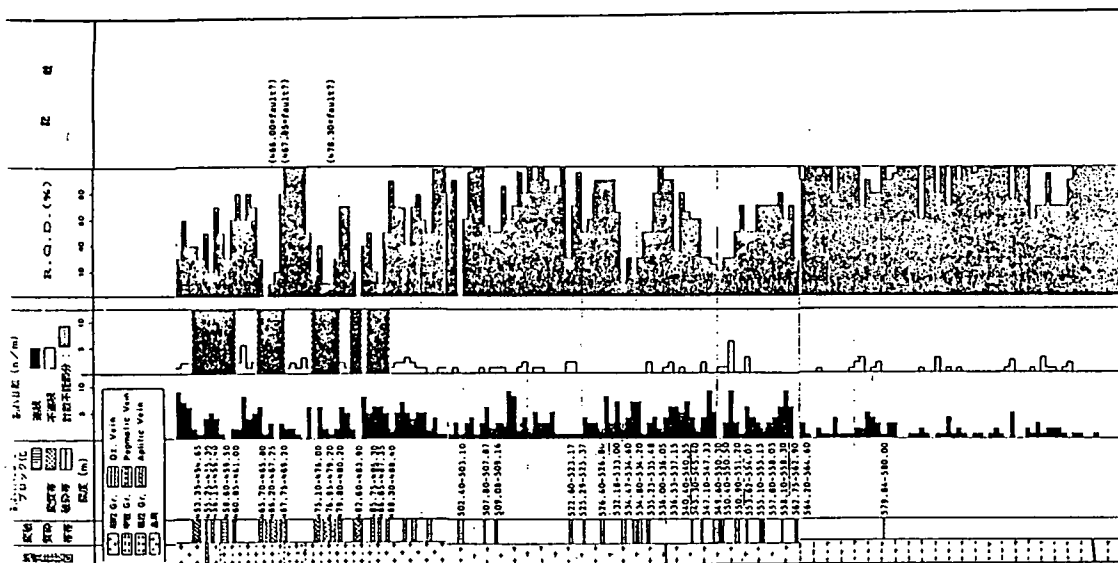


Fig. 3.12 レーダ反射図と岩芯観察結果との比較図 (a) 450m~625m  
 (右図：20MHzレーダ反射図,中図：60MHzレーダ反射図,左図：岩芯観察結果)

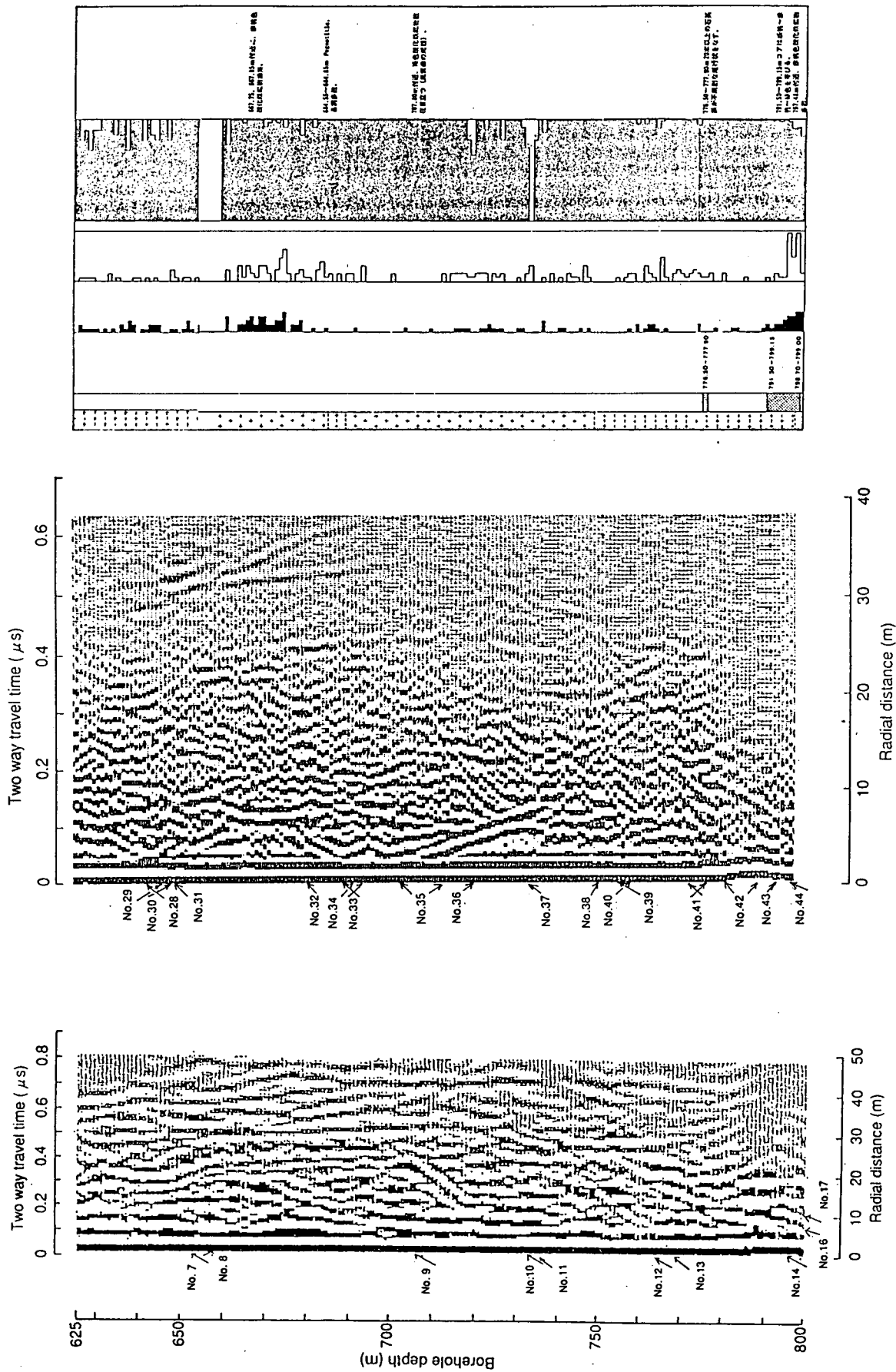


Fig. 3.12 レーダ反射図と岩芯観察結果との比較図 (b) 625m~800m  
 (右図：20MHzレーダ反射図, 中図：60MHzレーダ反射図, 左図：岩芯観察結果)

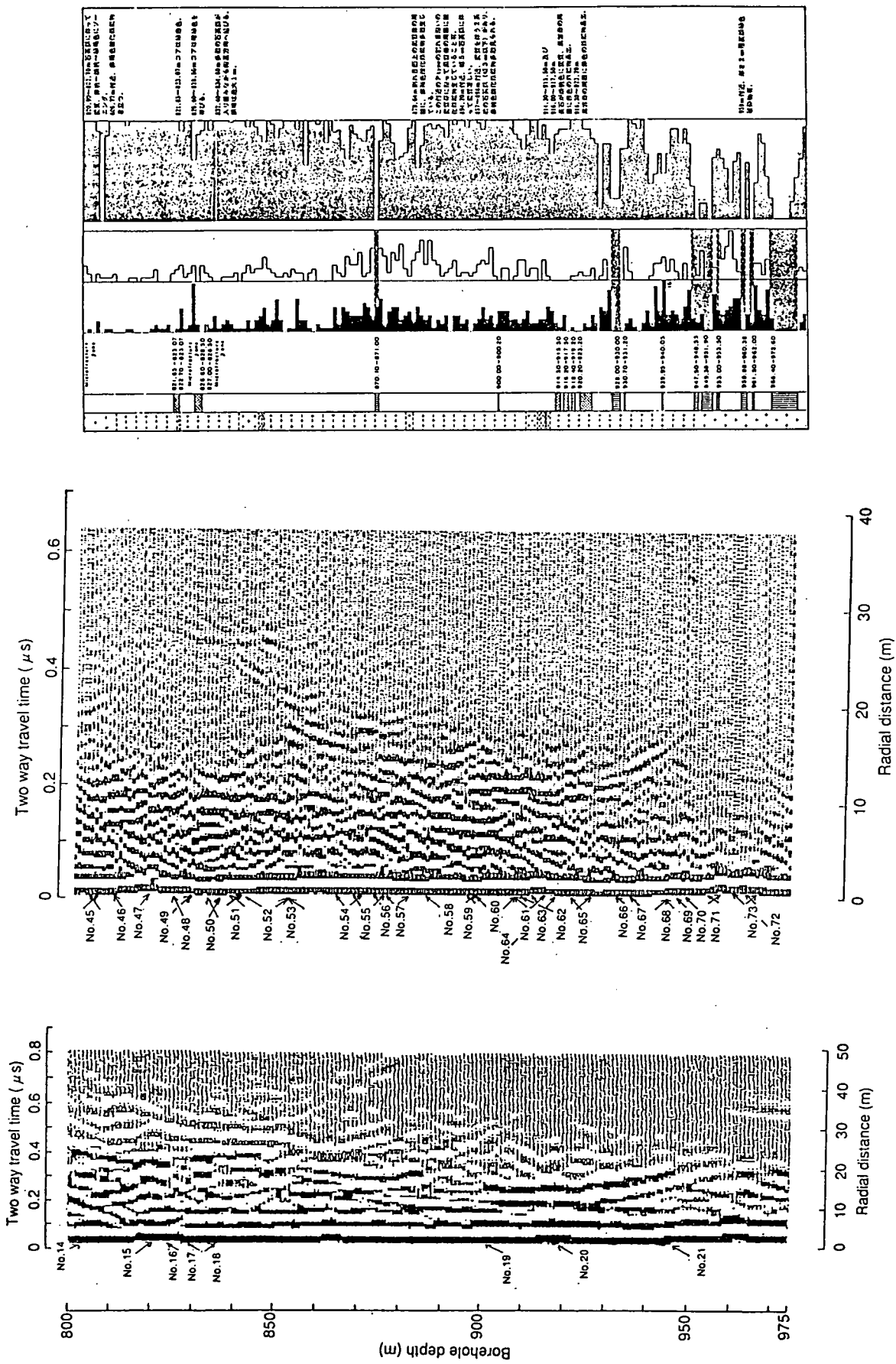


Fig. 3.12 レーダ反射図と岩芯観察結果との比較図 (c) 800m~975m  
 (右図: 20MHzレーダ反射図, 中図: 60MHzレーダ反射図, 左図: 岩芯観察結果)

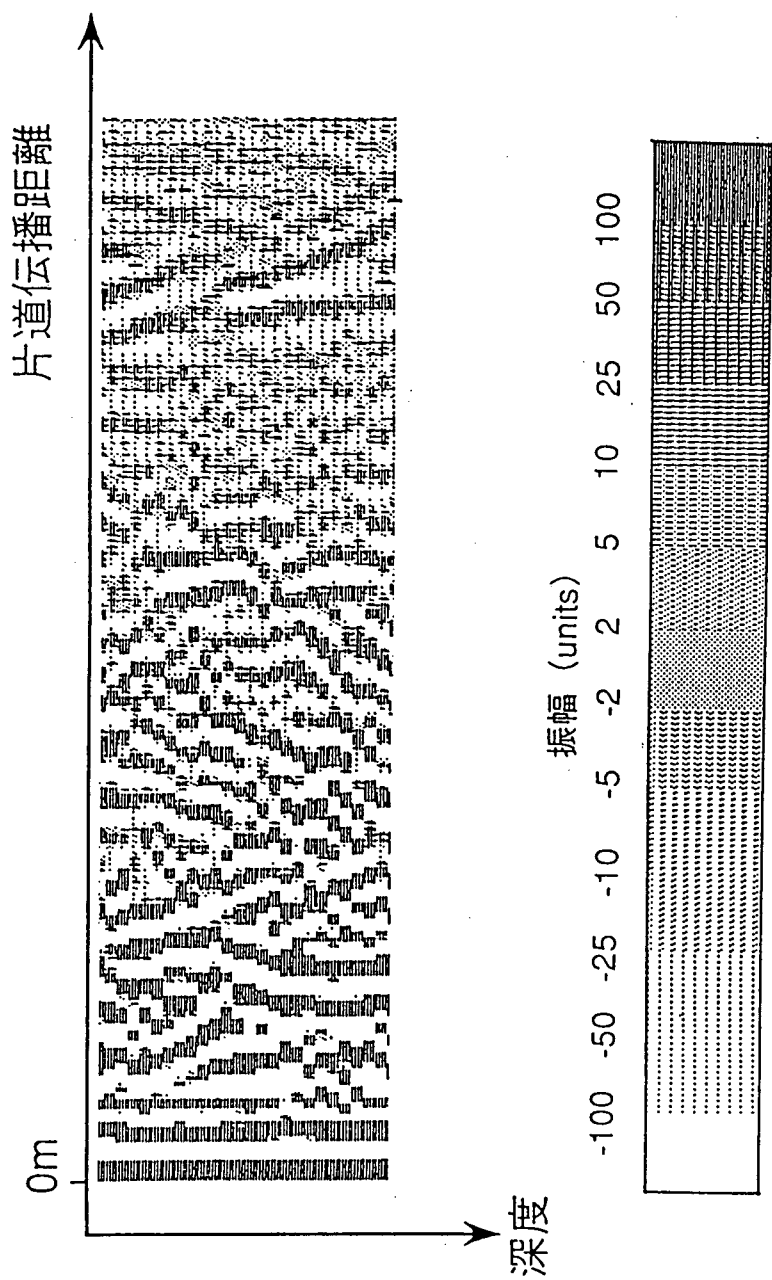


Fig. 3.1.3 片道透過距離説明図

レーダ反射図より、 $100$  unitsより大きい振幅が読み取れる最長の片道伝播距離を深度  $1$  m毎に求め、その距離を片道透過距離とした。上図の位置が各々の深度における片道透過距離である。

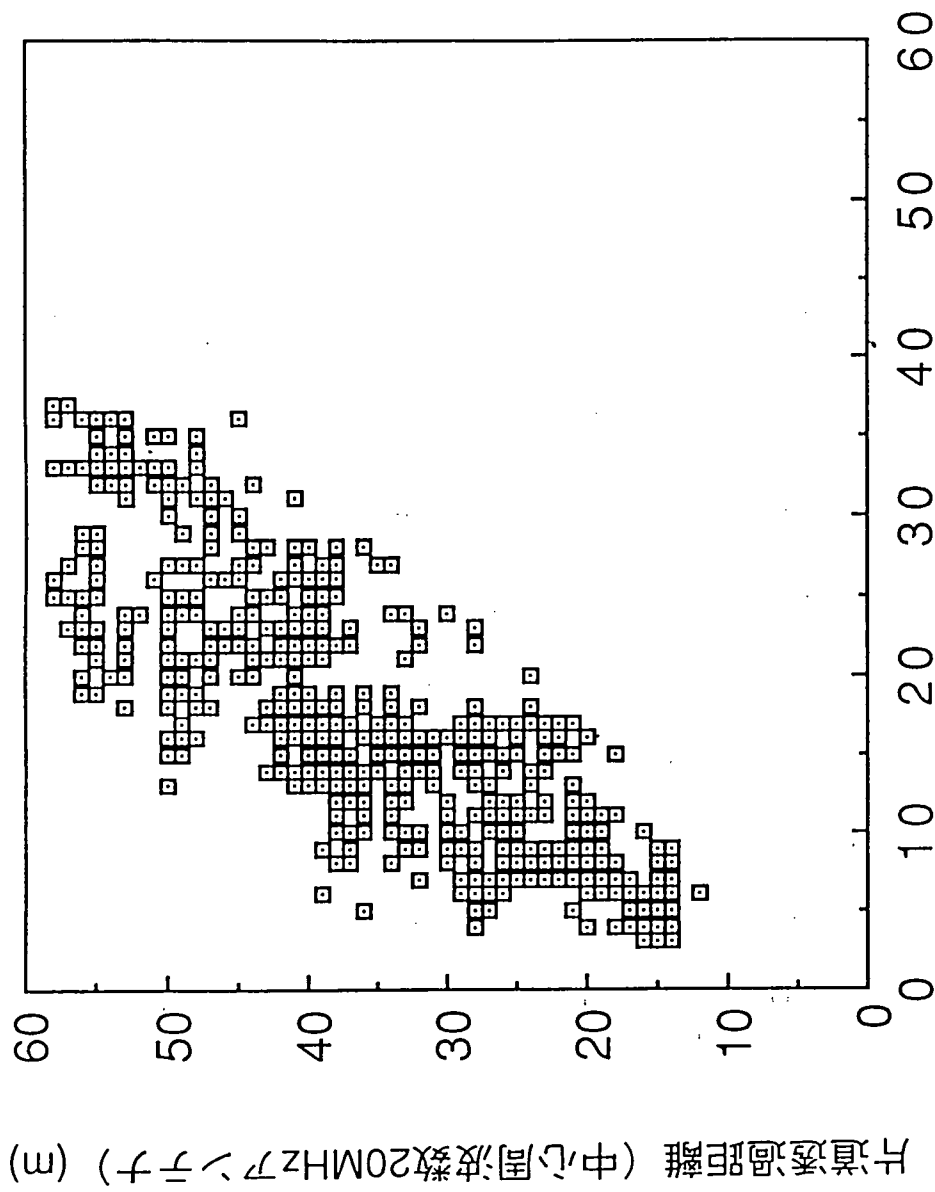


Fig. 3.14 アンテナの中心周波数の違いによる片道透過距離



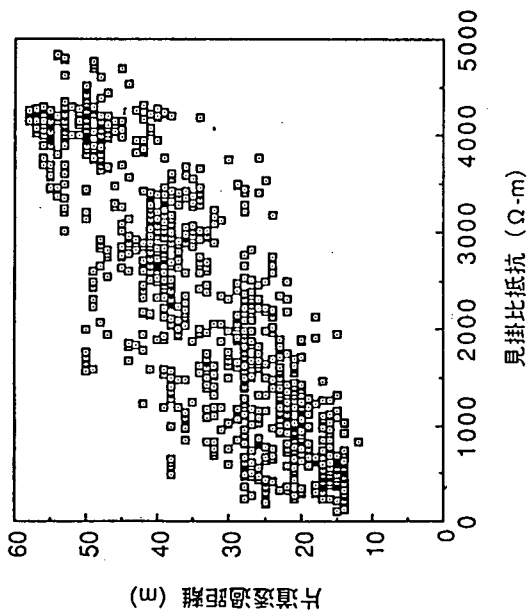


Fig. 3.15 見掛比抵抗 (Short Normal) と片道透過距離との関係  
(AN1 20 MHz)

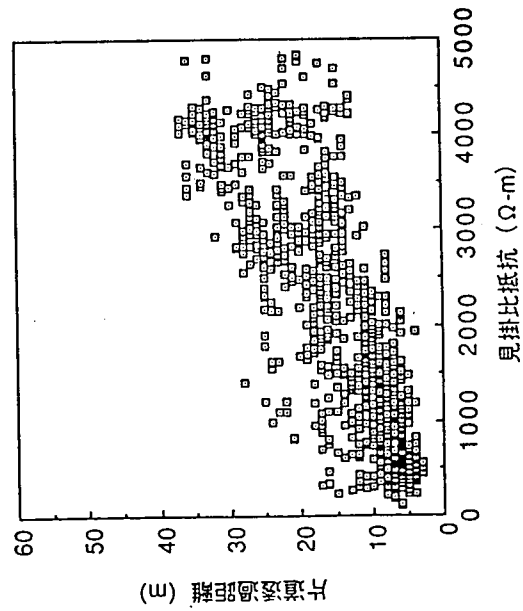


Fig. 3.17 見掛比抵抗 (Short Normal) と片道透過距離との関係  
(AN1 60 MHz)

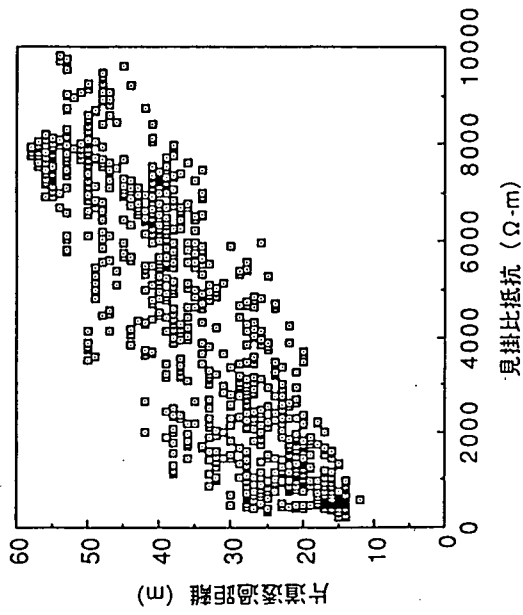


Fig. 3.16 見掛比抵抗 (Long Normal) と片道透過距離との関係  
(AN1 20 MHz)

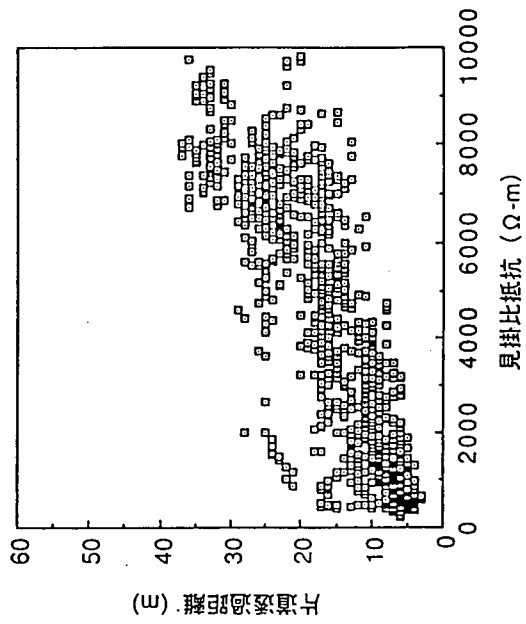


Fig. 3.18 見掛比抵抗 (Long Normal) と片道透過距離との関係  
(AN1 60 MHz)

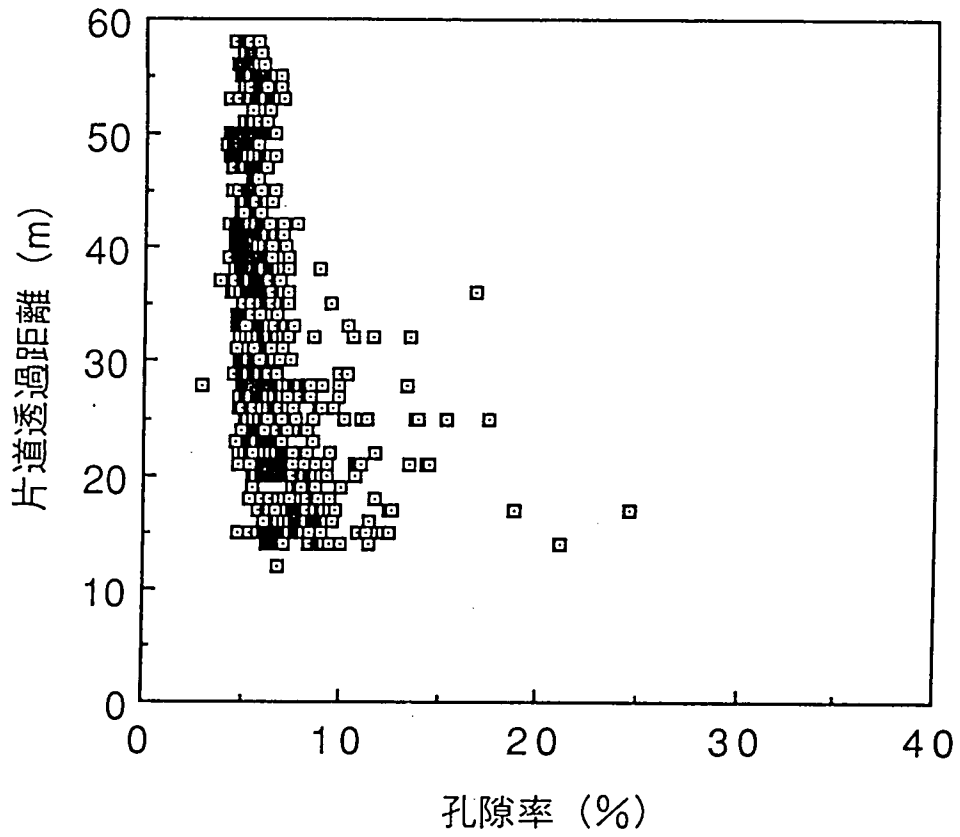


Fig. 3.19 孔隙率と片道透過距離との関係  
(A N 1 20MHz)

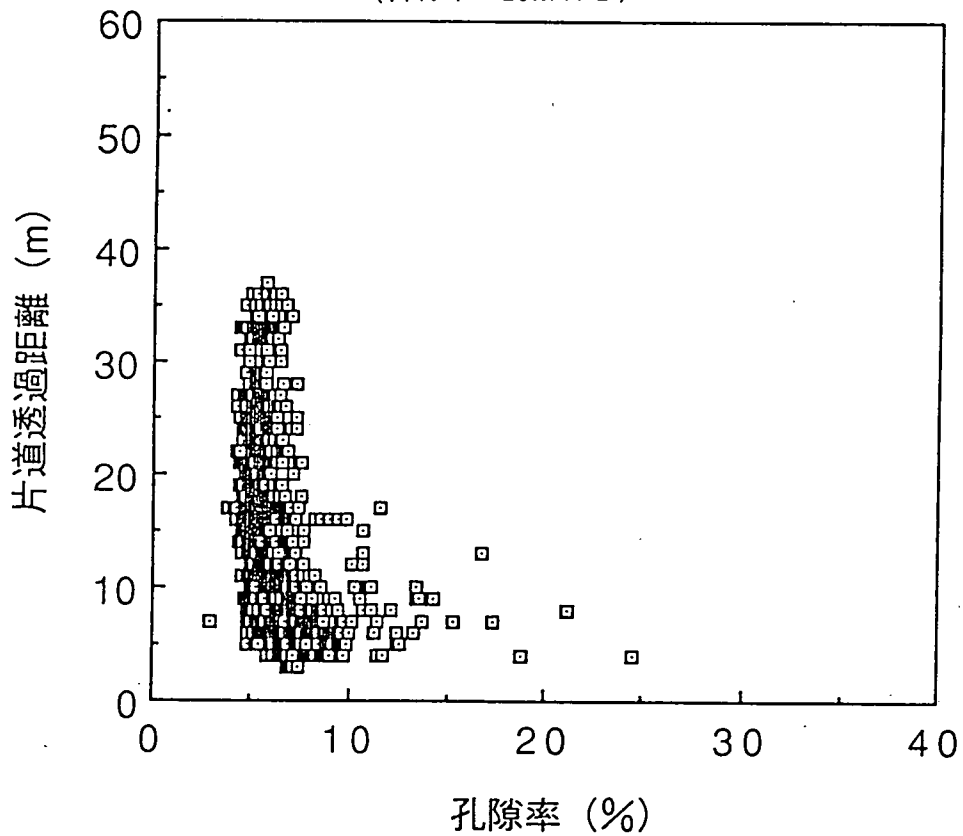


Fig. 3.20 孔隙率と片道透過距離との関係  
(A N 1 60MHz)

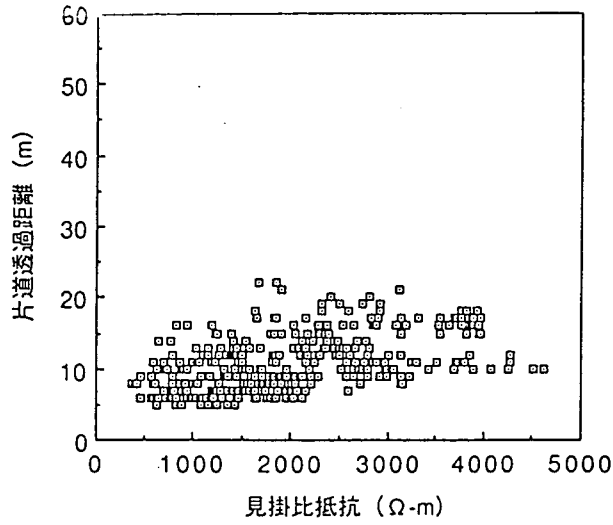


Fig. 3.21 見掛比抵抗 (Short Normal) と片道透過距離との関係  
(A N 3 60MHz)

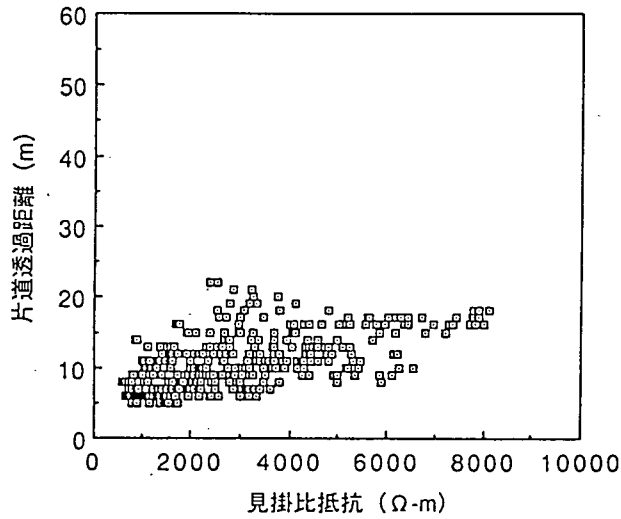


Fig. 3.22 見掛比抵抗 (Long Normal) と片道透過距離との関係  
(A N 3 60MHz)

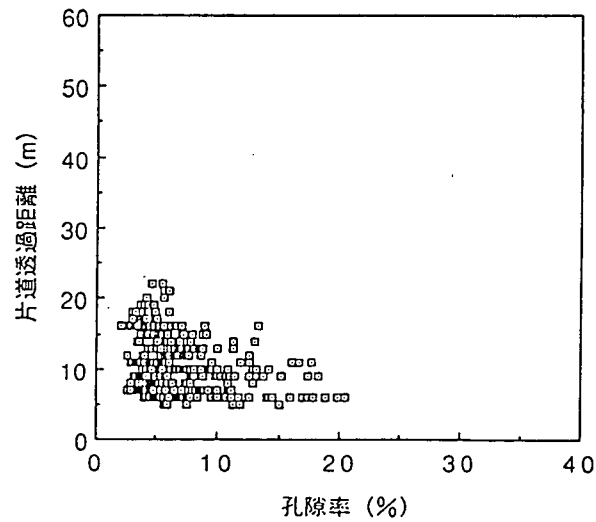


Fig. 3.23 孔隙率と片道透過距離との関係  
(A N 3 60MHz)

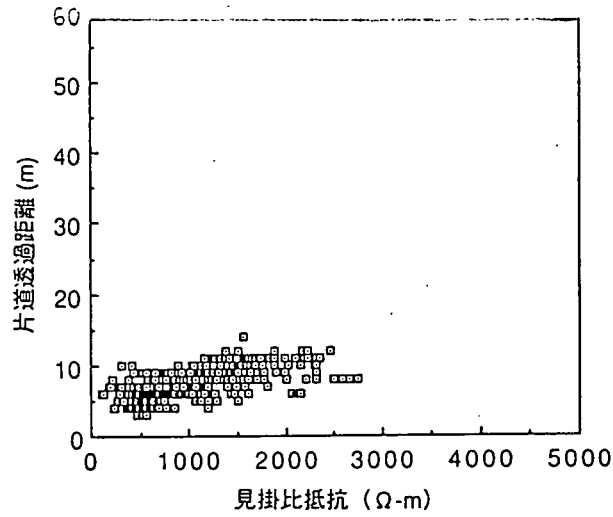


Fig. 3.24 見掛比抵抗 (Short Normal) と片道透過距離との関係  
(A N 1 60MHz ; 深度33m~300m)

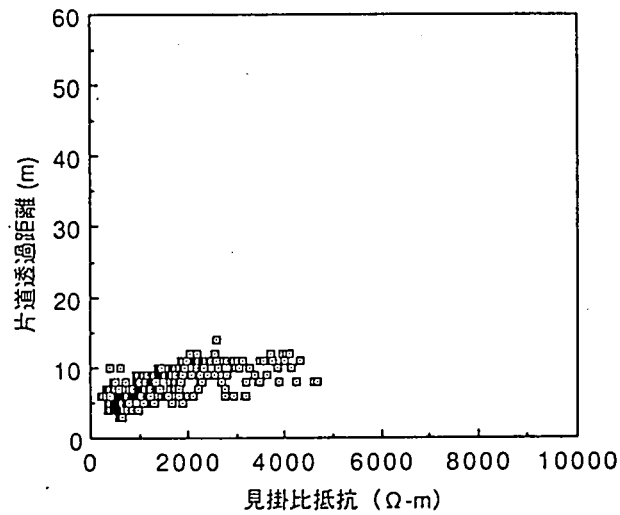


Fig. 3.25 見掛比抵抗 (Long Normal) と片道透過距離との関係  
(A N 1 60MHz ; 深度33m~300m)

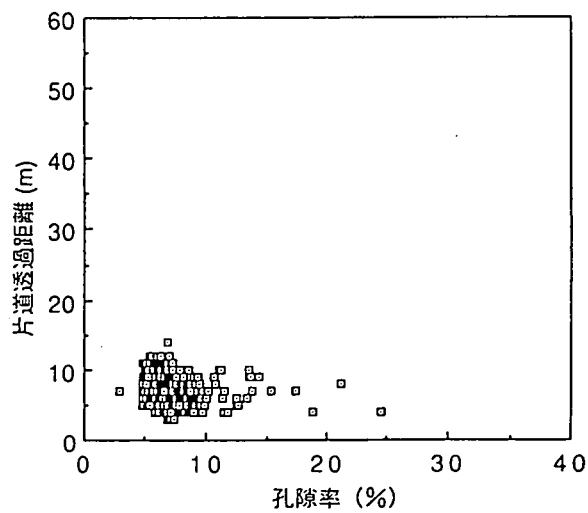


Fig. 3.26 孔隙率と片道透過距離との関係  
(A N 1 60MHz ; 深度33m~300m)

## 4. クロスホール調査

### 4-1 目的

クロスホール調査を実施し、得られたデータをトモグラフィ処理した結果と既存の岩芯観察結果、物理検層結果と比較検討することにより孔間の水理パラメータ予測手法を確立する。

### 4-2 調査方法

クロスホール調査は、電磁波の振幅の減衰率の分布、速度の分布を調べ、試錐孔間の岩盤特性の2次元的な広がり調べる方法である（佐久間・坪田，1988）。

クロスホール調査はトランスミッタとレシーバを別々の孔に入れ、通常トランスミッタを一定深度に固定し、レシーバを一定間隔で上昇あるいは下降させたとき、それぞれ測を行う。トランスミッタとレシーバ間の距離が長くなればレシーバで捕らえられる信号は小さくなるため、ある距離以上になればそのトランスミッタ深度における測定は中止し、トランスミッタを次の測点へ移動させる。この作業を繰り返し、作業を完了させる。ここでFig. 4. 1 にクロスホール調査の概念図を示す。

今回は、AN1号孔にレシーバを、AN3号孔にトランスミッタをそれぞれ挿入し、トランスミッタ深度40mより測定を開始した。測定に使用したアンテナの中心周波数は20MHzとし、またトランスミッタと、レシーバとも測定点間隔を4mとした。得られたデータをトモグラフィ処理し、岩芯観察結果および物理検層結果との比較を試みた。

Table 4. 1 に測定仕様を、Table 4. 2 に測定深度をそれぞれ示す。

Table 4. 1 に示すとおり、全測定波選数は680であった。

Fig. 4. 2 にアンテナ配置および測定パターンを示す。

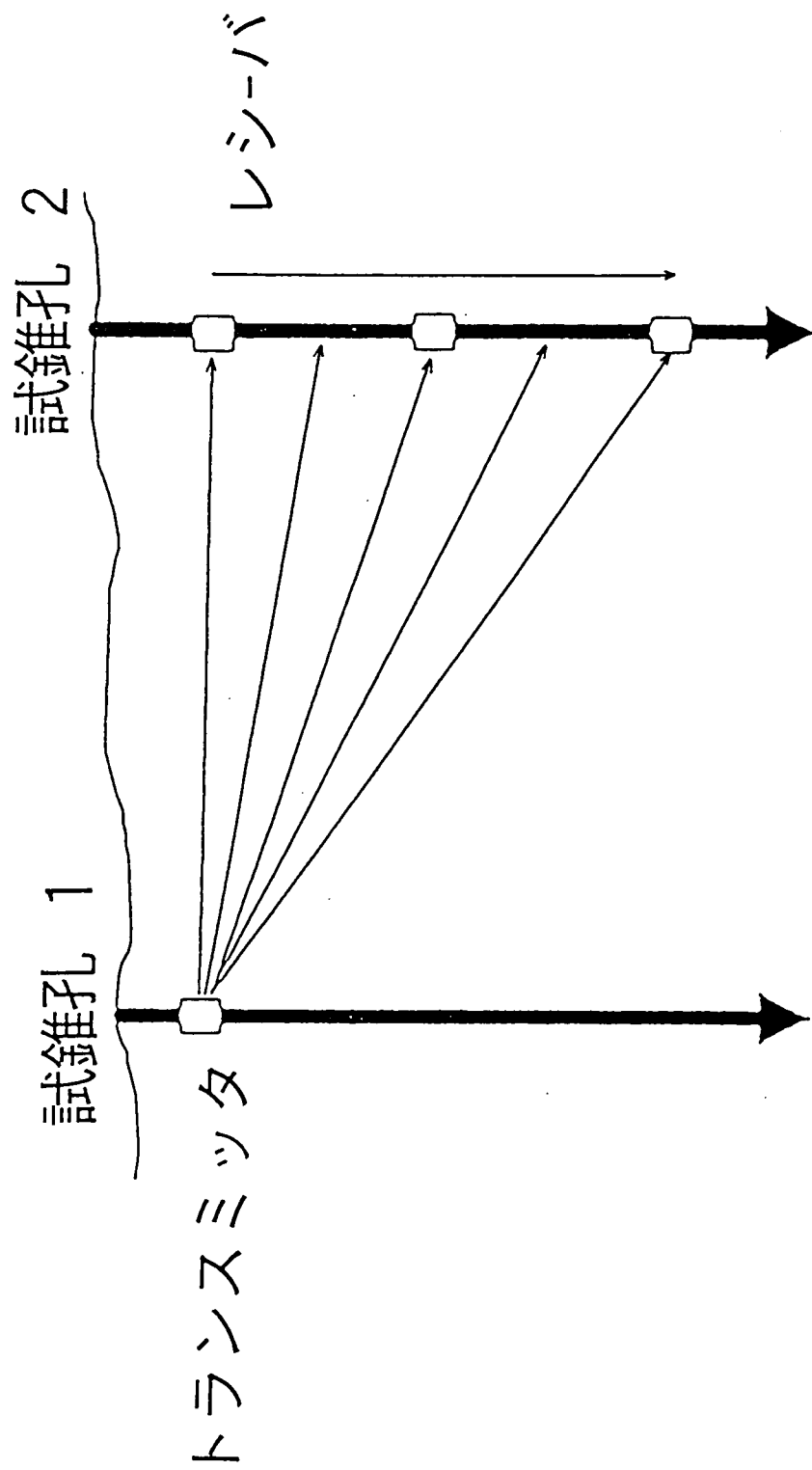


Fig. 4.1 クロスホール調査概念図

Table. 4. 1 測定仕様

Sampling frequency:	258.7825	MHz
Number of samples:	512	
Number of stacks:	256	
Signal position:	4.202353	$\mu$ sec
Total number of measured traces:	680	

Table. 4. 2 測定深度

Transmitter(AN3)		Receiver(AN1)
40 m	30-102 m	4 m steps down
44 m	102- 30 m	4 m steps up
48 m	30- 86 m	4 m steps down
52 m	86- 30 m	4 m steps up
56 m	30- 94 m	4 m steps down
60 m	94- 30 m	4 m steps up
64 m	30-102 m	4 m steps down
68 m	102- 42 m	4 m steps up
72 m	42-102 m	4 m steps down
76 m	102- 46 m	4 m steps up
80 m	46-110 m	4 m steps down
84 m	110- 50 m	4 m steps up
88 m	50-114 m	4 m steps down
92 m	114- 54 m	4 m steps up
96 m	54-122 m	4 m steps down
100 m	122- 66 m	4 m steps up
104 m	66-142 m	4 m steps down
108 m	142- 70 m	4 m steps up
112 m	70-154 m	4 m steps down
116 m	154- 82 m	4 m steps up
120 m	82-178 m	4 m steps down
124 m	178- 94 m	4 m steps up
128 m	94-182 m	4 m steps down
132 m	182- 98 m	4 m steps up
136 m	98-190 m	4 m steps down
140 m	190-102 m	4 m steps up
144 m	102-202 m	4 m steps down
148 m	202-102 m	4 m steps up
152 m	102-210 m	4 m steps down
156 m	210-110 m	4 m steps up
160 m	110-226 m	4 m steps down
164 m	226-114 m	4 m steps up
168 m	114-226 m	4 m steps down

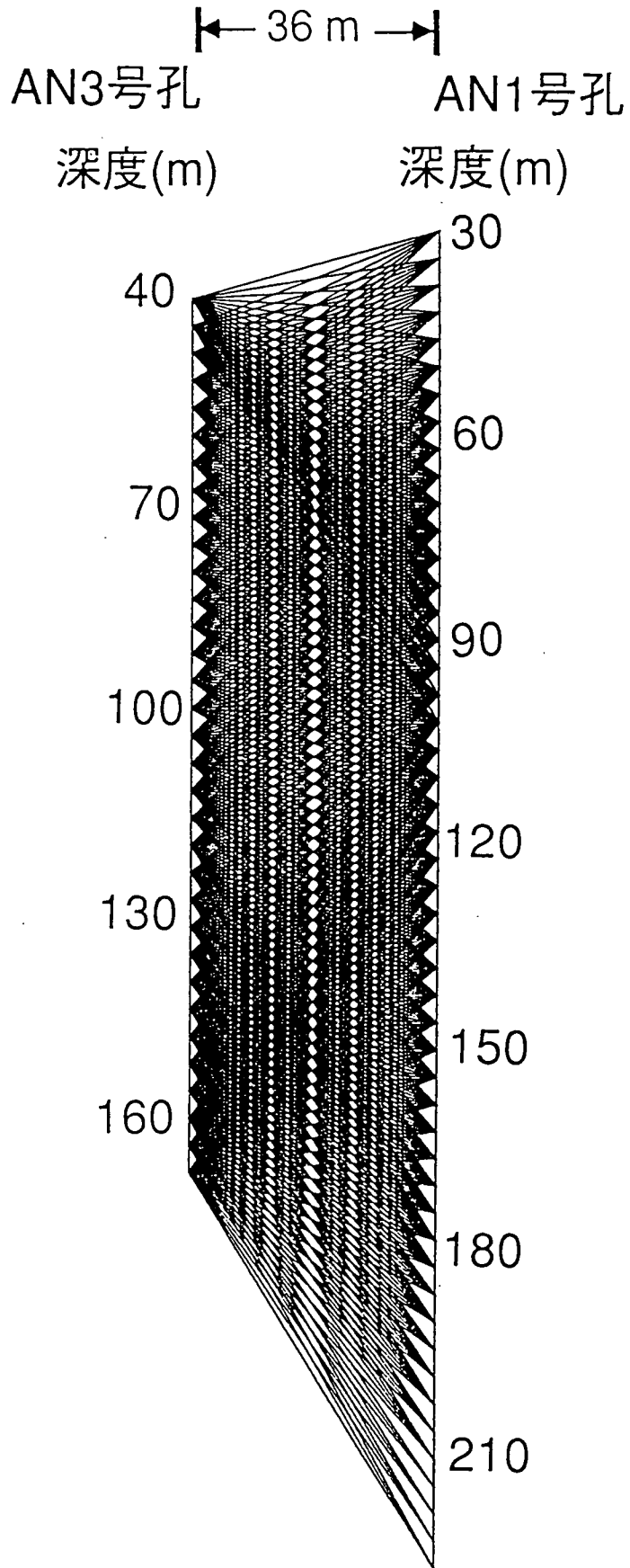


Fig. 4. 2 アンテナ配置及び測定パターン



#### 4-3 調査位置

岐阜県瑞浪市正馬様洞 A N 1 号孔深度30m～226m。

A N 3 号孔深度40m～168m。

#### 4-4 調査期間

1989年10月12日（木）～10月16日（月）

#### 4-5 調査結果

Table 4.1 の仕様で調査した結果の一例を、Fig. 4.3 に示す（トランスミッタ：深度160m，レシーバ：深度110m～226m）。Fig. 4.3 は、縦軸がレシーバの深度，横軸が電磁波の片道伝播時間となっている。トランスミッタとレシーバの距離が短くなれば、電磁波の伝播時間も短くなる。このような結果がトランスミッタの各深度について有り、これらのデータから電磁波の各伝播経路について、電磁波の振幅の正のピーク到達時間および減衰率として正と負のピーク間の振幅（Fig. 4.4）をそれぞれ求め、A N 1 号孔と A N 3 号孔間のトモグラフィ処理を行った。トモグラフィ処理を実施するにあたり、各電磁波伝播経路についてトランスミッタとレシーバ間の距離を求める必要があるが、2.5m 間隔の穴曲がり測定（マルチショット方式）結果により、各測点の3次元的位置を決定し、これにより求めた。Fig. 4.5 に A N 1 号孔と A N 3 号孔の、調査区間の平面図および断面図を示す。

トモグラフィは、電磁波の振幅の減衰率に関するものと、電磁波の伝播の遅さ（速度の逆数、スローネス）に関するものについて処理が行えるが、今回は減衰率に関するものについて実施した。

トモグラフィ処理は、電磁波の伝播経路をトランスミッタとレシーバを結んだ直線であると仮定し、CG法（Conjugate Gradient method; 共役勾配法）を用いて計算した。

ここで、減衰率トモグラフィ結果をFig. 4.6 に示す。トモグラフィ結果の各々のセルの大きさは3m×3mであり、繰り返し計算回数は11回である。減衰率トモグラフィは基準値から偏差で示されている。今回の減衰率の基準値は600dB/kmである。

図は、右側が A N 1 号孔、左側が A N 3 号孔、縦軸は孔口からの深度となっている。Fig. 4.7 に、トモグラフィ処理時の各セルを通過する波線の数を示す。減衰率トモグラフィ結果の深度100mより浅い部分で、A N 1 号孔から A N 3 号孔にかけて減衰率の偏差が小さくなり、淡い色がX形に見られる部分があるが、これは、これらのセルを通過する波線の中にノイズを含んだものが存在するからである。ノイズの含まれる波線を消去し、トモグラフィ処理を行った結果をFig. 4.8、トモグラフィ処理時の各セルを通過する波線の数をFig. 4.9 にそれぞれ示す。トモグラフィ結果のセルの大きさ、繰り返し計算時間、基準値はそれぞれFig. 4.6 の場合と同様である。

Fig. 4.8 によれば、今回の調査範囲は減衰率の大きさにより大きく3つの層に分かれる。第1層は A N 1 号孔深度150m付近と A N 3 号孔深度130mを結ぶ線より上部、第2層は A N 1 号孔深度180mと A N 3 号孔深度150mを結ぶ線まで、第3層はその下

部である。また第1層には減衰率の大きな部分が2ヶ所存在する。1つは、AN1号孔深度50m付近から深度方向に5m程の幅をもち、AN3号孔に向かい5m程の広がりをもったもの、もう1つはAN1号孔深度90m付近から深さ方向に10m程の幅をもったものと、深度105m付近から深度方向に2m程の幅をもったものがAN3号孔に向かい数mの所で合流し、AN3号孔深度130mに向かい広がっているものである (Fig. 4.8)。

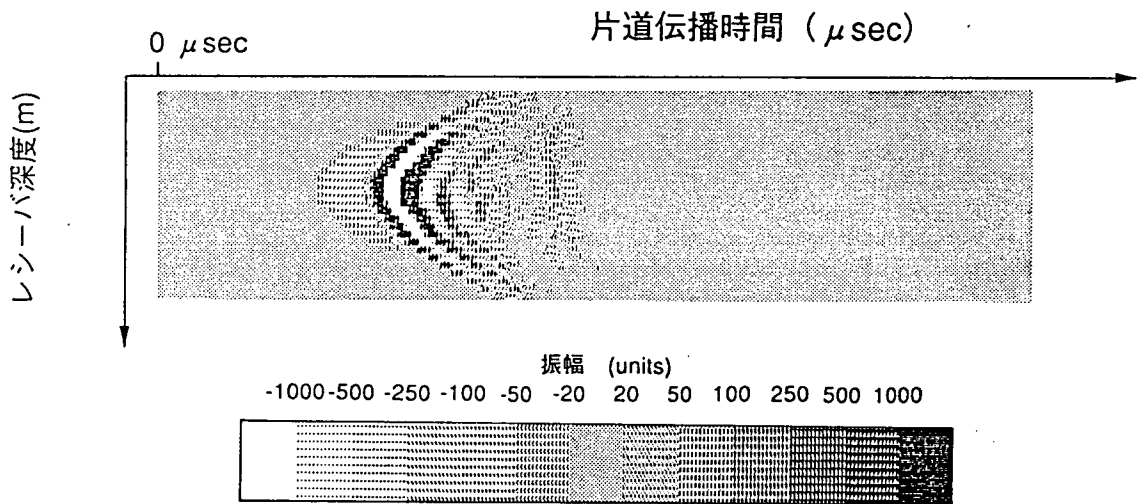


Fig. 4.3 クロスホール調査結果例  
(トランスミッタ：深度160m, レシーバ：深度110m~226m)

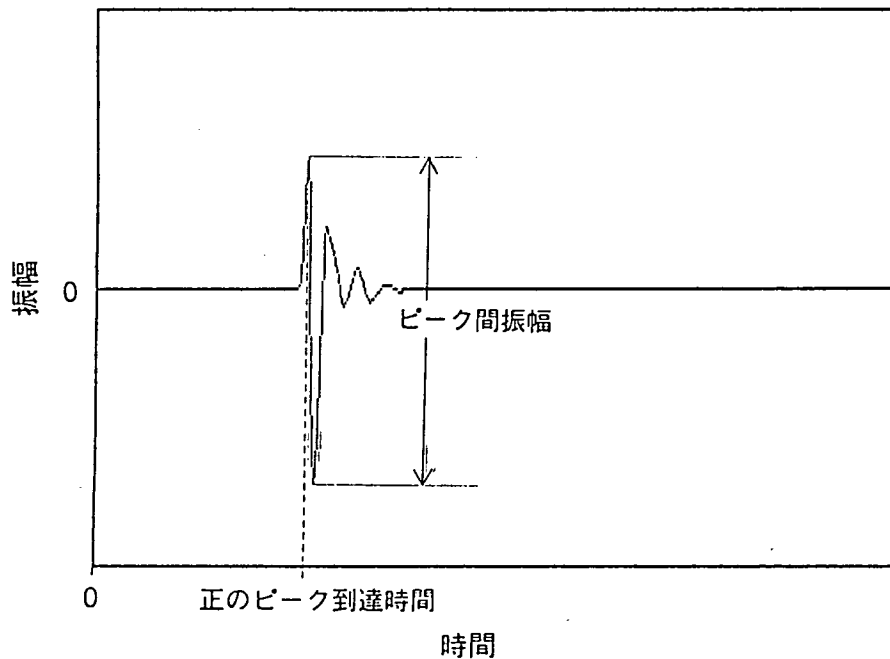
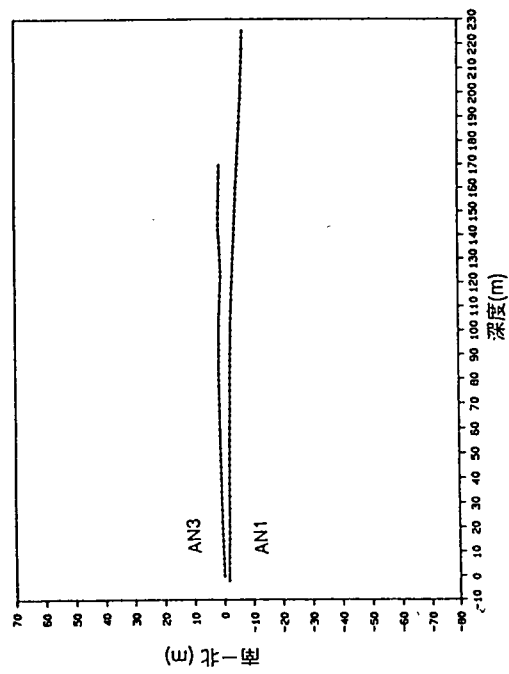
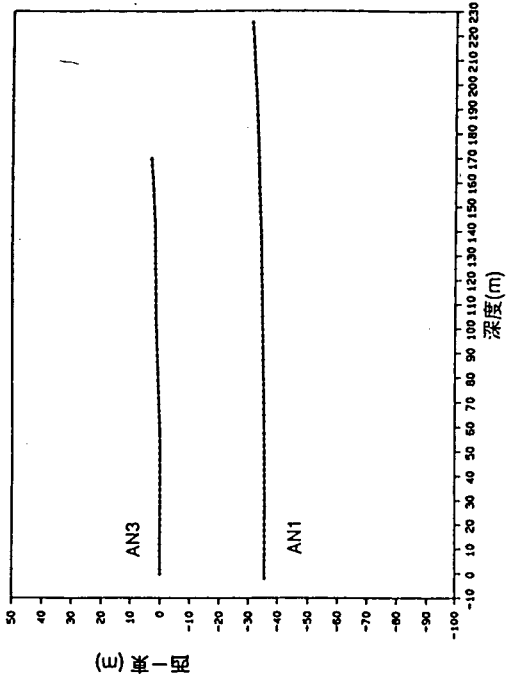


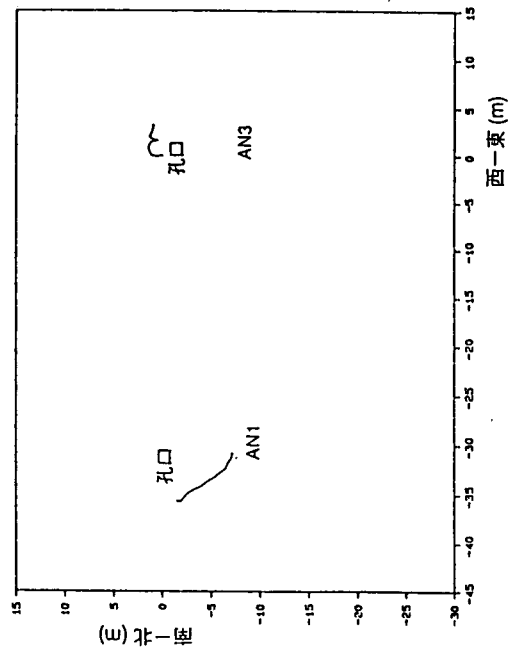
Fig. 4.4 正のピーク到達時間及びピーク間振幅説明図



(a) 南北方向断面図



(b) 東西方向断面図



(c) 平面図

Fig. 4.5 AN1号孔及びAN3号孔の断面図及び平面図  
(AN3号孔口の座標を(0,0)とする。)

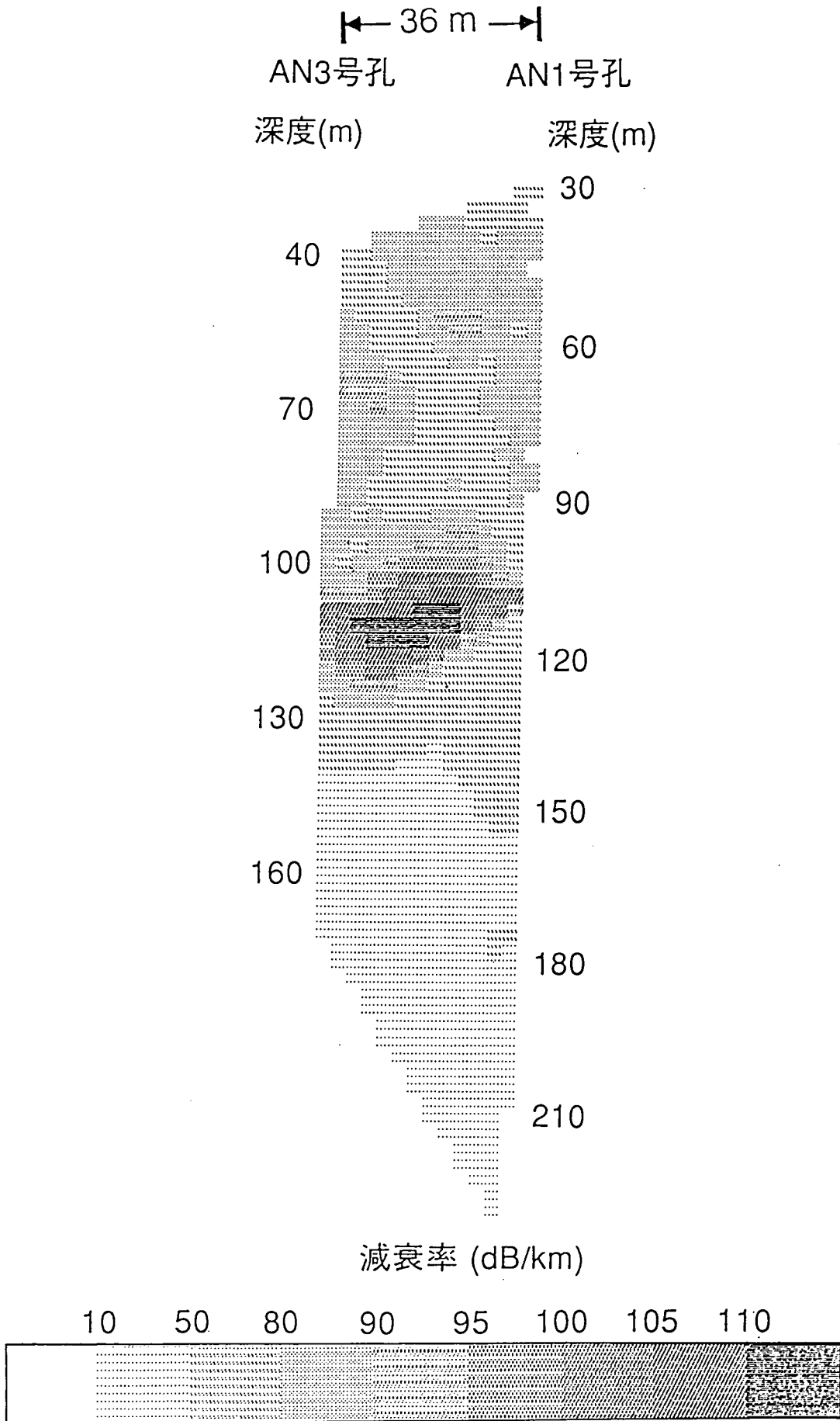


Fig. 4. 6 減衰率トモグラフィ結果



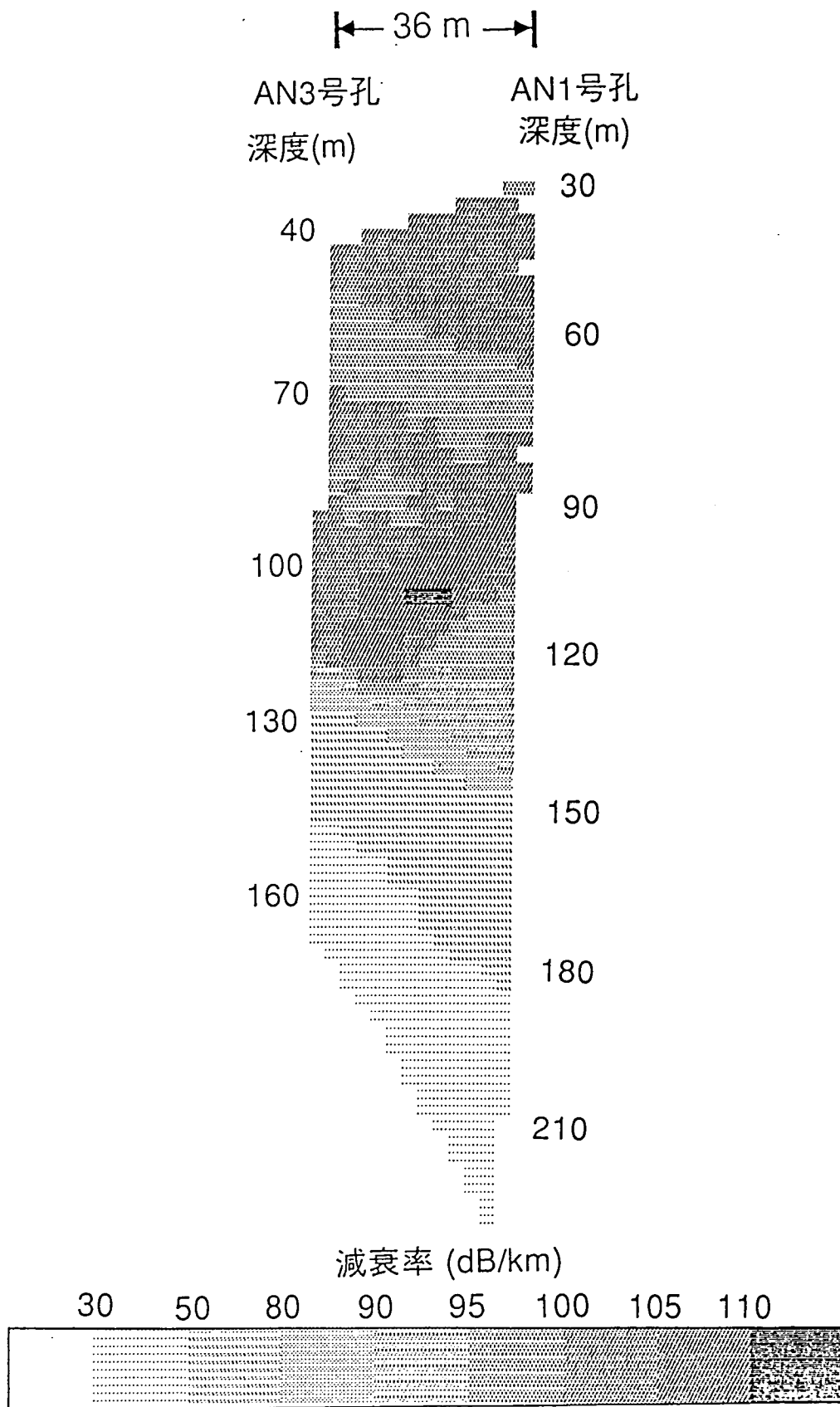


Fig. 4.8 減衰率トモグラフィ結果  
(ノイズを含んだ波線の消去後)



#### 4-6 考 察

トモグラフィ結果において、減衰率の大きな深度は地質的にどうなっているのかを調べるために岩芯観察結果との比較を行った。

AN1号孔及びAN3号孔においては、風化帯、緑色変質帯、灰緑色～灰白質変質帯、赤色変質帯等様々な変質帯が認められる。この変質帯においては物理検層（中性子による孔隙率測定）においても他の部分より含水状況が高く測定されている。含水状況が高ければ、電磁波の振幅は大きく減衰すると考えられるため、岩芯観察において認められた変質帯と減衰率トモグラフィ結果との比較を試みた（Fig. 4.10）。図はAN1号孔及びAN3号孔において変質帯が確認された深度を示しており、減衰率の大きな深度には変質帯が存在することがわかる。このことより減衰率トモグラフィにおいて減衰率のおおきな部分は変質帯であると思われる。

また、AN1号孔およびAN3号孔において中心周波数20MHzのアンテナを用いて実施されたシングルホール結果（昭和63年度実施されたRAMAC導入時の適用試験による）により抽出された反射面のうち減衰率の大きい部分の深度のものをトモグラフィ結果と比較した図をFig. 4.11に示す。これによると、電磁波は減衰率の大きい部分と小さい部分の境界で反射し、反射面として減衰率の大きい部分の縁を捕らえていることがわかる。

以上よりAN1号孔において認められた、深度50.4m～52.1mの変質帯はAN3号孔に向かい広がっており、深度88.5m～91.0mの変質帯と102.5m～105.0mの変質帯はAN1号孔から3m～6mの所で合流し10～20mの幅をもちAN3号孔深度130m付近に向かって広がっていることがわかった。このようにトモグラフィによれば、変質帯等の2次元的広がり、あるいはその連続性を見ることができる。

次にトモグラフィ結果における減衰率の大きさは岩盤の物性値に対してどのような影響を受けるのかを確かめるために、物理検層結果との比較を行った。物理検層は、シングルホール結果における透過距離とも良い相関のみられた電気検層とした。AN1号孔における電気検層による見掛比抵抗とトモグラフィ結果による減衰率との関係をFig. 4.12およびFig. 4.13に示す。Fig. 4.12の見掛比抵抗値はShort Normal（25cm）電気検層結果により、Fig. 4.13の見掛比抵抗値はLong Normal（100cm）の電気検層結果による。また減衰率はAN1号孔に沿ったセルの値とした。図によれば見掛比抵抗と減衰率は、見掛比抵抗値が高くなれば減衰率は低くなるという、負の相関がみられる。岩盤含水状況が高ければ比抵抗値は低くなるため、減衰率の分布は含水状況の分布と考えることもできる。しかしながら、見掛比抵抗値が低い所にも減衰率の小さい点がみられ、シングルホール結果による透過距離と見掛比抵抗との関係と比較して相関が良くない。この理由として、トモグラフィは1つ1つのセルの大きさが3m×3mであったため、物性値の変化に対して減衰率の変化が鈍いことも考えられるが、その他に、例えばセル中を通過する波線数が少なければ（Fig. 4.7, Fig. 4.9）解析結果の信頼度は低くなるというトモグラフィ解析上の問題であるとも考えられる。

今回の減衰率トモグラフィにより、2ヶ所の減衰率の大きい部分は変質帯であることがわかったが、このうち深部のものについては、AN3号孔で認められた変質帯の



うち137.9m～139.2mのものに連続していると考えられる。しかし今回のトモグラフィ結果では、その連続性は認められなかった（Fig. 4.8）。また、変質帯は他の深度にも存在しており、変質帯であれば必ず減衰率トモグラフィでみとめられるとは限らない。そこで今後は、トモグラフィ結果で認められる変質帯はどのようなものであったか、また破碎帯等との関係はどうか等を詳細に検討するとともに、理論的にどのような割れ目帯（どのような物性値の変化があれば）トモグラフィ結果に現れるのかを検討する必要がある。

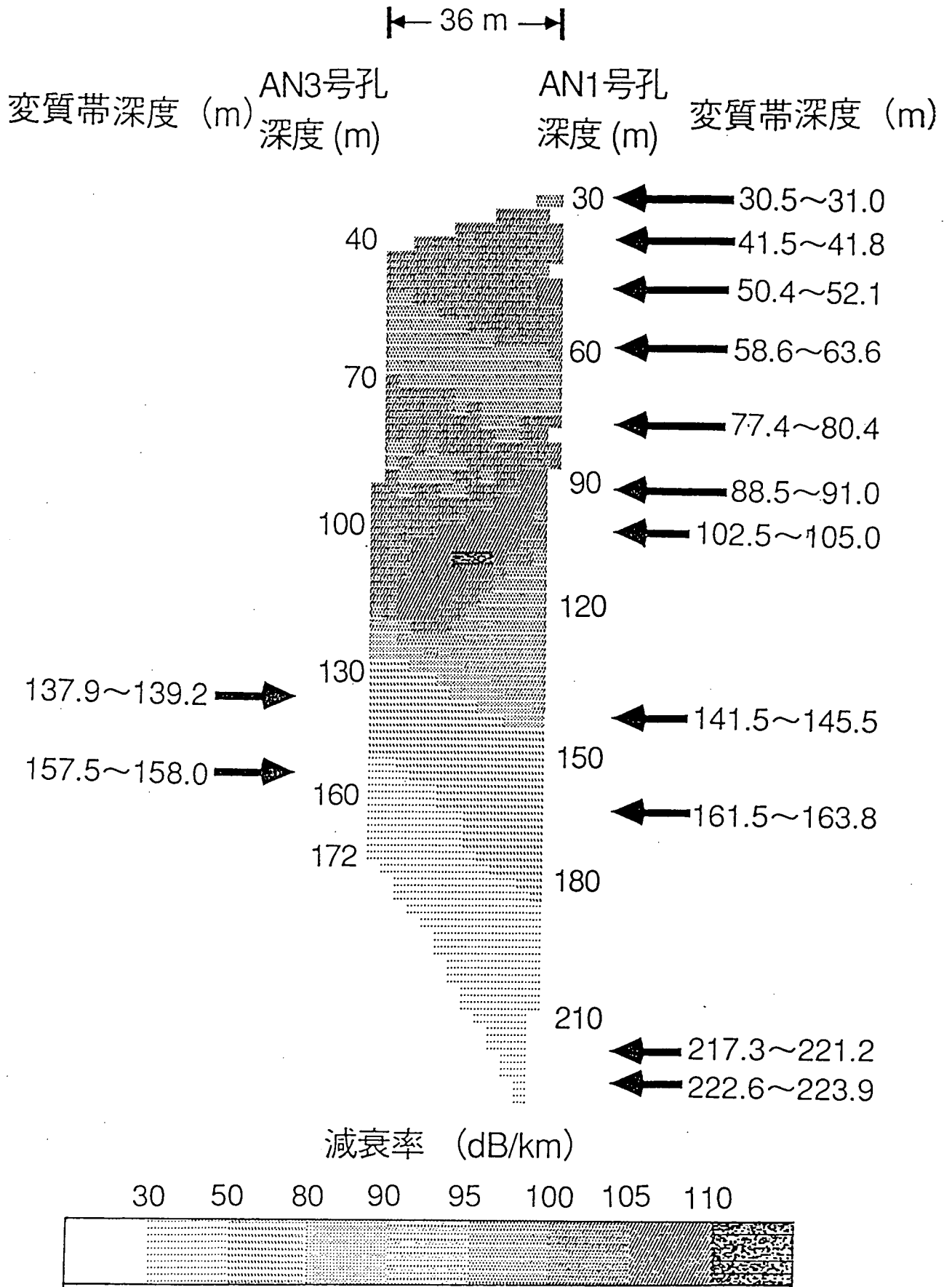


Fig. 4.10 変質帯と減衰率トモグラフィ結果との比較

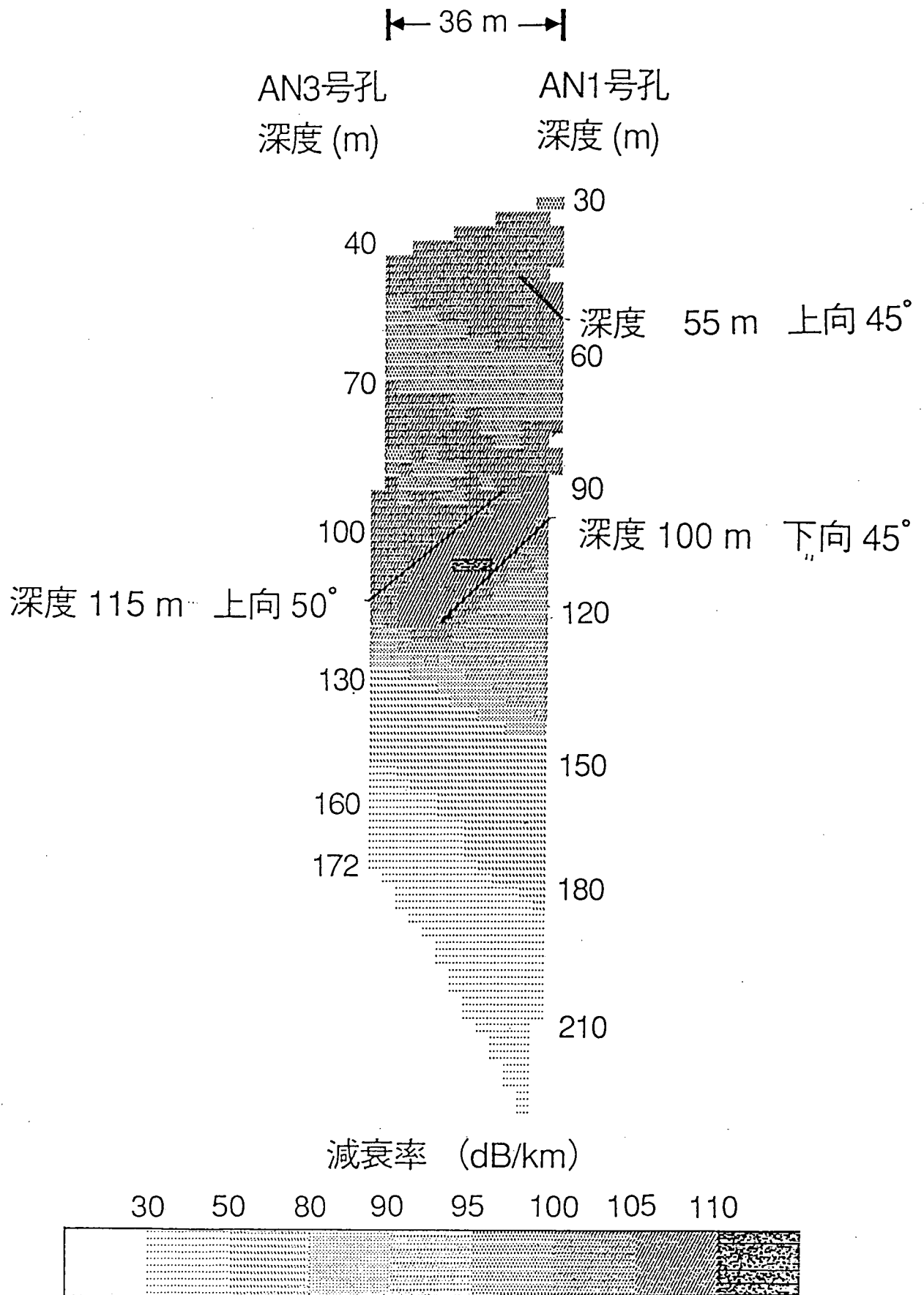


Fig. 4.11 シングルホール結果とトモグラフィ結果との比較

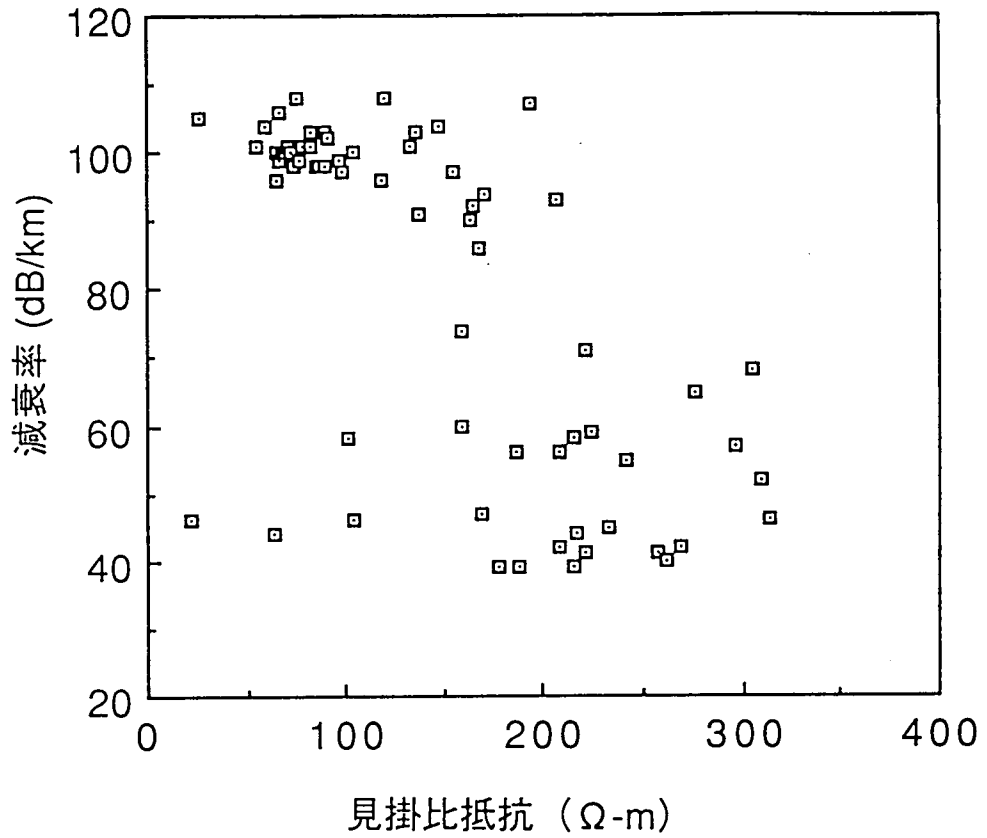


Fig. 4.12 見掛比抵抗 (Short Normal) と減衰率との関係 (A N 1)

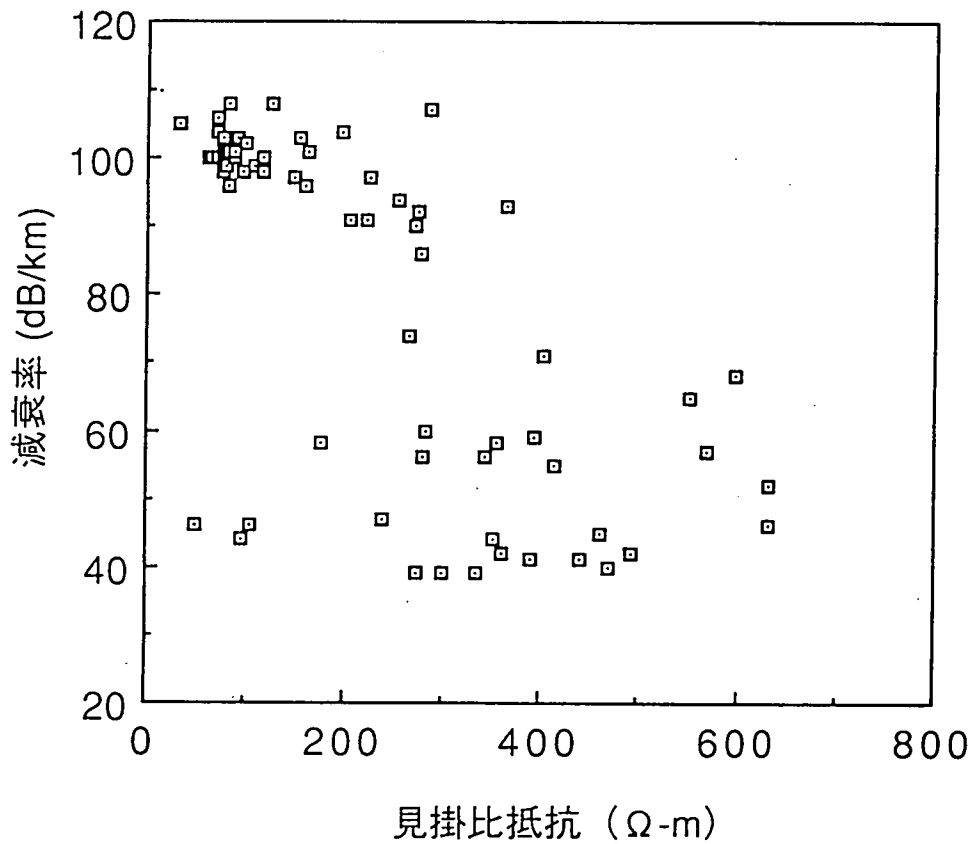


Fig. 4.13 見掛比抵抗 (Long Normal) と減衰率との関係 (A N 1)

## 5. ま と め

平成元年度シングルホール調査およびクロスホール調査を実施し、その解析結果と岩芯観察結果および物理検層結果と比較した結果、以下の点についてわかった。

### (1) シングルホール調査について

- ① 中心周波数20MHzのアンテナを使用した場合調査できる範囲は、中心周波数60MHzのアンテナを使用した場合の1.5～2倍となるが、分解能は低くなる。
- ② 中心周波数60MHzのアンテナを使用した場合、破碎帯，変質帯，その他RQD値の低い深度で反射面を確認することができる。
- ③ 電磁波の岩盤内透過距離は、岩盤の見掛比抵抗と正の相関があり、岩盤の見掛比抵抗をみれば電磁波により調査できる範囲を推定できる。
- ④ 電磁波の岩盤内透過距離は岩盤の孔隙率にも影響を受け、孔隙率が7～10%より大きくなれば透過距離は短くなり、調査できる範囲は狭くなる。

### (2) クロスホール調査について

- ① 減衰率トモグラフィ結果によれば、AN1号孔およびAN3号孔間の今回の調査範囲は、減衰率の大きさにより3つの層に分けられる。
- ② 減衰率トモグラフィ結果で、減衰率が他と比較して大きな値を示す深度は、岩芯観察において変質帯の認められた深度と一致している。またシングルホール結果（レーダ反射図）によると減衰率の大きな部分の縁を反射面としてよく捕らえていることから、減衰率トモグラフィにおける減衰率の大きな部分の広がりの変質帯の広がりである。
- ③ 減衰率トモグラフィ結果と電気検層による見掛比抵抗値との関係では、負の相関がみられる。

今後の課題は、以下の様に考えられる。

- ① シングルホール調査結果を解析したレーダ反射図により、破碎帯，変質帯，RQD値の低い深度において反射面を捕らえることができるが、レーダ反射図で捕らえられる反射面がどういうものかは確定できない。そこで、レーダ反射図で捕らえた反射面は、地質的にはどのような場所に存在するのかを詳細に調べるとともに、どのような物性値の差があればどのように反射図に表されるのかを理論的に検討する。
- ② クロスホール調査結果を処理した減衰率トモグラフィ結果において、減衰率の大きい部分は変質帯であることがわかったが、全ての変質帯がトモグラフィ結果で表される訳ではない。そこで、トモグラフィ結果で表された変質帯は他の変質帯，破碎帯等と比較して何か異なる点があるのかを詳細に検討するとともに、岩盤内にどのような物性値の差があれば、どのようにトモグラフィ結果に表されるのかを理論的に検討する。
- ③ トモグラフィ処理をする際、波線数の少ないセルにおいてその値は信用できない可能性があり、またクロスホール調査においてトランスミッタとレシーバは試錐孔に配置されるため、試錐孔と平行になるような構造のものについては検知できない可能性もある。そこでトモグラフィ解析精度を知るためにモデル計算を行う。

- ④ 今回のクロスホール調査結果において、そのデータはAN1号孔およびAN3号孔の浅部のみであった。統計的に解析するためにはさらに多くのデータが必要と考えられるため、AN1号孔およびAN3号孔深部あるいは他地域でのデータ取得が必要であると考ええる。
- ⑤ 上記①～④を解決し、レーダ法による孔間水理パラメータの空間分布の予測手法を確立する。

## 6. 参考文献

- (1) 佐久間 秀樹・坪田 浩二(1988)：土岐花崗岩におけるRAMACシステム適用試験，第78回物理探査学会講演論文集，305～309
- (2) 仙波 毅・尾方 伸久・坪田 浩二(1989)：ボアホールレーダの我が国における花崗岩への適用試験，PNC TN7410 90-003
- (3) 仙波 毅・尾方 伸久・坪田 浩二・大澤 英昭(1989)：ボアホールレーダの応用例（特に花崗岩に対するRAMACの適用），地下電磁計測ワークショップ論文集，66～70
- (4) 吉田 英一・大澤 英昭・柳澤 孝一・山川 稔(1989)：深部花崗岩中の割れ目解析－岐阜県東濃地方に分布する花崗岩類を例にして－，応用地質，vol 30, 131～142

### 3.3 4チャンネル・カーボンによる断層調査

担当 目黒 昇

#### 1. はじめに

地質環境の適正を評価するため昭和63年度より日本全域を対象とした、地質環境特性調査の一環として航空写真判読による断層系調査が実施されている。

今年度は、その調査結果（中国地方における地質環境特性調査のための断層系調査）に基づいて、広島市周辺、兵庫県豊岡市西方地域の4チャンネルカーボン車による地表放射能調査を行い、両調査結果の比較と4チャンネル・カーボン調査の有効性を検討するための基礎的データの取得を行った。

#### 2. 目的

4チャンネル・カーボン調査による断層等の解析と、その評価手法を確立する。

#### 3. 平成元年度調査地域及び調査期間

兵庫県豊岡市西方地域 平成1年10月16日～10月20日

広島県広島市周辺 平成2年2月26日～3月7日

#### 4. 調査方法

① 検出器	NaI	5インチ×5インチ（12本）
② 測定速度	7 km/時	
③ 時定数	10秒～30秒	
④ 測定核種	$^{40}\text{K}$ 、 $^{214}\text{Bi}$ 、 $^{208}\text{Tl}$ 、トータル $\gamma$ 線	

#### 5. 調査結果

##### 5-1 豊岡市西方地域4チャンネルカーボン調査

##### 5-1-1 調査地域の地質概要

本地域は粗粒微斜長石、黒雲母花崗岩を基盤として、北但層群に属する八鹿累層（塩基性凝灰岩及び溶岩）、豊岡累層（礫岩、砂岩、酸性凝灰岩）が不整合に累積し、更にこれらを新期火成岩類（細粒花崗岩、半花崗岩、花崗閃緑岩、流紋岩質岩石、流紋岩）が、貫き、旧期深成岩類、八鹿、豊岡両累層に変質を与えている。これらの上部に玄武洞玄武岩が覆っている。（図-1）

### 5-1-2 位 置

測線及び調査位置は第2図に示す。

各測線の延長は以下の通りである。

T-1	2.5 km
T-2	1.46 km
T-3	4.61 km
T-4	1.61 km
T-5	1.50 km
T-6	3.91 km
T-7	4.44 km

### 5-1-3 各測線の放射線強度

各測線のK、Bi、Tℓおよび全γ線の統計計算結果は以下の通りである。

T-1	最大値	最小値	平均値	標準偏差
K	3315	2224	2691	271
Bi	441	305	367	28
Tℓ	505	350	426	35
Total γ	138204	122953	129840	3652

T-2	最大値	最小値	平均値	標準偏差
K	4648	2516	3308	562
Bi	585	360	444	60
Tℓ	718	370	532	100
Total γ	167828	127864	143390	11376

T-3	最大値	最小値	平均値	標準偏差
K	2354	1444	1795	195
Bi	301	203	247	20
Tℓ	362	217	285	28
Total γ	92289	81892	86554	2560

T-4	最大値	最小値	平均値	標準偏差
K	4459	1240	2664	840
Bi	533	188	357	71
Tℓ	566	195	402	84
Total γ	153792	103438	127689	11921



T-5		最大値	最小値	平均値	標準偏差
K		3 2 8 8	1 8 1 5	2 5 1 7	3 8 1
Bi		5 6 6	2 2 0	4 0 1	7 7
Tℓ		6 4 5	2 9 5	4 5 5	9 9
Total γ		1 4 8 5 4 9	1 1 6 0 2 3	1 3 0 9 4 7	8 5 5 0

T-6		最大値	最小値	平均値	標準偏差
K		5 4 1 3	2 0 1 6	3 0 3 1	5 6 5
Bi		4 5 4	1 6 4	3 4 0	4 6
Tℓ		5 5 5	1 9 2	3 7 3	6 0
Total γ		1 6 0 9 9 9	1 1 1 8 8 7	1 3 2 0 0 2	7 3 8 5

T-7		最大値	最小値	平均値	標準偏差
K		3 5 2 5	1 8 5 6	2 5 7 6	4 4 2
Bi		4 7 2	2 9 4	3 5 6	3 6
Tℓ		5 5 6	3 1 5	4 0 3	5 3
Total γ		1 3 9 1 0 4	1 1 6 7 7 8	1 2 6 5 0 3	6 2 6 4

#### 5-1-4 解析結果

##### 異常点の分類

分類	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
	(009)	(011)	(013)	(014)	(015)	(022)	(024)
Bi型	1	1	0	1	0	0	1
K型	0	0	0	0	0	0	0
Tℓ型	0	0	2	0	1	1	3
K・Tℓ型	0	0	0	0	0	0	0

### 5-1-5 調査地域内の異常トリニアメントの関係 (図-3)

4ルートでBi型が認められ、T $\ell$ 型が4ルートで認められ、K型、K・T $\ell$ 型は認められなかった。

#### Bi型

T-1、T-2、T-4、T-7測線でBi型が認められた。これらの異常点は活断層2の断層付近で認められた。

#### T $\ell$ 型

T-3、T-5、T-6、T-7測線でT $\ell$ 型が認められた。これらの異常点は活断層2の付近で認められた。

## 5-2 広島市周辺

### 5-2-1 調査地域の地質概要

本地域に分布する花崗岩は広島花崗岩(複合)体と呼ばれ、東西230km、南北230kmと言われている。

岩相は、中粒～粗粒の黒雲母花崗岩で、主成分鉱物は石英・カリ長石・斜長石・黒雲母である。カリ長石は時に淡紅色を示し、斑状に成長する。

具体的に均一だが、部分的にミグマタイトーアプライト脈が見られる。又、一般的に風化が進み、瀬戸内海沿岸部では数10mの深さまでマサ土に変わっている。

本地域はNE系の構造規制が強く、一部花崗岩体の貫入方向を規制している。地質断層においては、このNE系の他にNNW～NS系も見られる。活断層ではそのほとんどがNE系で、この地域に分布する上根断層、五日市断層などはNW側が隆起している。(図-4)

### 5-2-1 調査位置

調査地域は第5図に示す。

各測線の延長は25測線75.89kmである。

各測線の延長は以下の通りである。

F 1	0.28 km
F 2	1.66 km
F 3	2.61 km
F 4	5.91 km
F 5	8.13 km
F 6	1.95 km
F 7	1.36 km
F 8	0.80 km
F 9	3.16 km
F 10	1.69 km
F 11	0.74 km

F 1 2	2. 2 2 km
F 1 3	1. 4 1 km
F 1 4	2. 8 4 km
F 1 5	3. 4 3 km
F 1 6	0. 7 1 km
F 1 7	2. 4 9 km
F 1 8	6. 3 8 km
F 1 9	1. 9 3 km
F 2 0	1. 6 3 km
F 2 1	0. 6 2 km
F 2 2	1. 1 2 km
F 2 3	2. 0 3 km
F 2 4	1. 8 0 km
F 2 5	1. 2 1 km

5-2-3

(1) 測定結果

各測線のK、Bi、Tℓおよび全γ線の放射線強度についての統計計算結果は以下のとおりである。(単位C/30S)

F 1	最 大 値	最 小 値	平 均 値	標 準 偏 差
K	4 6 6 5	2 0 4 8	3 3 6 7	6 4 1
Bi	5 1 1	2 7 9	3 6 9	5 0
Tℓ	5 9 0	3 0 6	4 1 3	5 8
Total γ	1 5 2 0 0 8	1 1 7 9 4 1	1 3 3 3 5 7	8 1 0 6

F 2	最 大 値	最 小 値	平 均 値	標 準 偏 差
K	4 0 5 8	2 4 1 1	3 3 1 5	4 1 1
Bi	5 9 0	3 8 9	4 8 2	5 0
Tℓ	7 2 7	4 0 0	5 5 5	7 3
Total γ	1 5 6 6 1 2	1 2 9 5 6 9	1 4 3 5 7 8	6 4 9 6

F 3	最 大 値	最 小 値	平 均 値	標 準 偏 差
K	7 0 7 9	4 2 7 2	5 2 4 6	5 5 2
Bi	1 0 4 2	8 0 4	9 1 2	6 4
Tℓ	1 1 6 1	7 9 7	9 8 7	1 0 6
Total γ	2 8 9 6 7 9	2 3 7 6 9 1	2 6 8 5 4 9	8 6 8 8

F 4	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	6 6 0 6	3 5 5 7	5 0 4 7	7 5 2
B i	1 2 2 0	6 6 7	9 1 5	1 2 7
T ℓ	1 3 9 1	6 5 8	9 8 0	1 6 0
Total γ	3 0 6 8 6 5	2 4 3 3 0 3	2 7 0 9 9 4	1 5 0 4 5

F 5	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	9 6 4 3	3 1 1 0	5 4 9 1	1 2 8 1
B i	1 6 2 2	6 2 1	1 0 0 6	1 8 4
T ℓ	2 1 2 6	5 8 4	1 0 9 6	2 6 6
Total γ	3 7 2 9 7 4	2 3 2 1 2 0	2 8 1 9 0 0	2 5 3 4 7

F 6	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	7 6 0 2	3 5 2 5	5 5 2 3	1 0 3 3
B i	1 3 7 3	7 4 0	1 0 1 5	1 6 3
T ℓ	1 7 9 3	6 7 5	1 1 5 1	2 7 2
Total γ	3 2 8 9 0 1	2 4 0 9 8 1	2 8 2 5 2 5	2 1 6 8 3

F 7	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	7 2 5 7	5 0 0 7	5 5 5 4	5 9 5
B i	1 7 3 5	1 3 6 0	1 5 5 6	8 9
T ℓ	1 3 1 1	8 3 3	9 5 5	1 2 3
Total γ	3 2 4 5 0 0	2 7 8 3 0 0	2 9 4 2 7 5	1 1 0 0 9

F 8	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	7 9 9 4	5 0 1 8	6 5 1 5	1 0 7 9
B i	2 1 2 0	1 5 6 5	1 8 1 5	2 2 4
T ℓ	1 5 9 5	8 9 1	1 2 3 2	2 5 4
Total γ	3 5 2 6 5 5	2 8 8 9 6 0	3 1 7 3 7 5	2 2 9 7 2

F 9	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	9 7 6 2	6 6 0 4	7 9 8 9	7 8 3
B i	2 0 7 0	1 5 4 1	1 7 5 4	1 3 1
T ℓ	1 9 6 2	1 1 0 5	1 4 2 5	2 1 1
Total γ	3 8 1 5 6 2	3 1 3 4 9 6	3 3 8 2 7 9	1 6 0 4 1

F 1 0	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	8 8 1 1	5 9 6 1	7 3 5 8	6 5 0
B i	1 8 9 9	1 4 5 3	1 6 4 2	1 1 8
T ℓ	1 7 6 9	1 1 2 5	1 3 9 2	1 4 8
Total γ	3 5 7 9 3 1	3 0 3 1 6 3	3 2 7 9 4 0	1 2 3 3 9

F 1 1	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	9 8 6 7	7 2 3 7	8 6 8 4	8 8 4
B i	1 6 5 7	1 2 5 5	1 4 5 8	1 2 6
T ℓ	2 0 2 2	1 5 1 1	1 7 6 9	1 6 4
Total γ	3 6 6 5 7 6	3 1 4 8 6 0	3 4 1 9 3 6	1 6 3 4 0

F 1 2	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	1 1 8 1 6	6 1 1 1	8 2 9 9	1 3 1 0
B i	2 1 9 5	8 5 5	1 4 0 5	3 1 2
T ℓ	2 6 0 7	1 0 0 8	1 7 4 9	4 3 8
Total γ	4 2 1 9 6 1	2 8 1 6 7 0	3 3 9 8 9 2	3 5 5 3 7

F 1 3	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	9 8 3 2	6 8 5 8	7 7 4 3	7 7 7
B i	1 5 5 6	8 9 6	1 1 9 3	1 4 9
T ℓ	2 0 0 2	1 0 3 3	1 4 4 0	2 1 9
Total γ	3 6 1 2 9 7	2 8 7 7 6 6	3 1 6 0 2 1	1 7 5 3 8

F 1 4	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	9 0 8 2	6 1 1 2	7 5 3 5	6 8 1
B i	1 4 5 7	8 9 6	1 1 8 5	1 4 4
T ℓ	1 9 6 1	1 0 2 1	1 3 9 0	2 0 7
Total γ	3 5 6 6 4 0	2 8 6 7 0 5	3 1 4 9 9 9	1 6 5 4 3

F 1 5	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	9 5 4 4	6 4 1 4	7 9 5 6	8 4 4
B i	1 7 4 6	9 3 6	1 2 9 6	2 1 3
T ℓ	1 8 7 1	9 7 7	1 4 1 1	2 4 4
Total γ	3 7 2 9 4 8	2 8 8 0 0 3	3 5 2 8 6 6	2 2 4 6 5

F 1 6	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	1 0 4 3 9	7 6 5 0	8 2 8 9	7 3 7
B i	1 5 3 5	1 1 5 8	1 2 7 4	9 8
T ℓ	1 5 6 3	1 2 2 0	1 3 9 6	1 1 7
Total γ	3 6 1 3 6 1	3 1 8 4 8 1	3 2 8 2 5 0	1 2 0 7 5

F 1 7	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	8 7 7 9	6 4 1 6	7 3 3 1	7 5 8
B i	1 3 8 6	8 6 1	1 0 7 2	1 3 9
T ℓ	1 7 0 6	9 0 3	1 1 8 9	2 0 5
Total γ	3 4 2 9 6 3	2 8 6 1 6 8	3 0 6 4 9 4	1 6 3 0 2

F 1 8	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	1 0 4 7 8	6 0 9 6	7 8 8 9	7 8 0
B i	1 6 4 2	9 2 9	1 2 4 2	1 4 7
T ℓ	2 0 2 7	1 0 6 9	1 4 6 7	2 0 6
Total γ	3 7 6 5 7 5	2 8 8 4 2 6	3 2 4 2 5 7	1 7 0 2 2

F 1 9	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	9 3 6 6	6 0 6 2	7 7 2 7	6 8 1
B i	1 6 8 7	1 1 3 7	1 4 1 3	1 3 0
T ℓ	1 7 1 2	1 0 6 8	1 4 6 6	1 5 0
Total γ	3 5 1 9 0 4	2 9 4 5 5 1	3 2 7 4 8 6	1 2 4 9 5

F 2 0	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	1 1 1 3 3	7 4 9 0	8 8 0 5	8 2 1
B i	1 9 0 2	1 2 4 1	1 4 6 8	1 6 1
T ℓ	2 4 4 7	1 7 3 8	1 9 7 2	1 6 9
Total γ	3 9 8 4 5 9	3 2 0 4 3 1	3 4 4 9 5 5	1 7 6 8 8

F 2 1	最 大 值	最 小 值	平 均 值	標 準 偏 差
K	3 2 8 9	2 1 7 9	2 6 5 4	2 9 5
B i	5 5 0	3 5 6	4 3 7	5 0
T ℓ	5 9 7	3 7 4	4 7 3	5 7
Total γ	1 1 8 0 8 1	9 9 2 3 0	1 0 7 7 2 5	5 1 4 3

F 2 2	最 大 値	最 小 値	平 均 値	標 準 偏 差
K	9 3 1 1	6 8 4 8	7 6 9 8	6 4 4
B i	1 4 8 1	1 0 3 1	1 2 4 7	1 0 7
T ℓ	1 6 5 3	1 0 8 7	1 3 8 7	1 3 3
Total γ	3 4 7 0 5 2	2 9 9 5 4 1	3 8 1 2 8 2	1 1 6 3 0

F 2 3	最 大 値	最 小 値	平 均 値	標 準 偏 差
K	1 1 0 1 1	6 0 6 8	7 5 7 7	1 0 0 6
B i	1 6 3 0	9 5 3	1 2 3 0	1 6 4
T ℓ	1 7 0 6	1 0 3 5	1 3 3 3	1 8 0
Total γ	3 6 6 7 6 3	2 8 8 4 0 8	3 1 5 8 5 9	1 8 7 9 0

F 2 4	最 大 値	最 小 値	平 均 値	標 準 偏 差
K	8 9 0 7	5 8 4 3	7 4 3 0	7 8 8
B i	1 3 5 6	8 6 3	1 1 8 0	1 1 0
T ℓ	1 6 7 6	9 4 3	1 3 7 0	1 6 8
Total γ	3 4 2 1 6 8	2 7 9 3 2 2	3 1 4 7 2 9	1 4 8 5 5

F 2 5	最 大 値	最 小 値	平 均 値	標 準 偏 差
K	7 8 0 0	5 8 4 6	6 5 2 3	4 3 1
B i	1 1 7 7	9 7 0	1 0 5 2	5 7
T ℓ	1 4 0 1	1 0 5 2	1 1 9 5	1 0 3
Total γ	3 1 7 4 4 7	2 8 4 8 5 6	2 9 5 5 5 2	8 2 9 0

(2) 広島市周辺・花崗岩の放射能値 (単位 C / 30S)

	<sup>40</sup> K	<sup>214</sup> B i	<sup>208</sup> T ℓ	トータル γ 線
MAX	8700	1380	1700	342,000
MIN	6400	860	903	286,000
AVERAGE	7700	1070	1190	306,000

5-4 解析結果

5-4-1 異常点の分類

	Bi型	T $\ell$ 型	K型	T $\ell$ ・K型	
1	0	1	0	1	泥岩層
2	0	0	0	1	"
3	0	1	0	0	"
4	0	4	0	0	"
5	0	6	0	0	"
6	1	0	0	1	花崗岩
7	0	0	0	0	"
8	0	0	0	1	"
9	0	1	3	0	"
10	0	0	0	1	"
11	0	0	0	0	"
12	0	0	0	0	"
13	0	0	1	0	"
14	0	0	1	0	"
15	0	1	0	0	"
16	0	0	0	0	"
17	0	1	0	0	"
18	0	1	1	0	"
19	0	0	0	0	"
20	0	0	0	0	"
21	3	1	0	0	"
22	0	0	0	0	"
23	1	0	0	0	"
24	0	0	0	0	"
25	0	0	0	0	"



## 5-4-2 異常点のパターン分類

### 4チャンネル・カーボン異常点のパターン分類

分類	個数	断層の種類
K型	3ヶ所	地質断層(2)……3ヶ所
T $\ell$ 型	5ヶ所	地質断層(2)……5ヶ所
K・T $\ell$ 型	2ヶ所	地質断層(1)……1ヶ所 地質断層(2)……1ヶ所
B $i$ 型	8ヶ所	活断層(2)……7ヶ所 地質断層(2)……1ヶ所

## 6. まとめ

4チャンネル・カーボン調査は、既に農林省・農業土木試験場によって地下水、地熱調査に応用し、成果が報告されている。

動燃事業団では、この装置にさらに改良を加えたカーボン車を開発し、現場適用試験を実施してきた。

平成元年度は、航空写真判読による断裂系調査結果に基づいて4チャンネル・カーボン調査を実施し、両調査結果の比較を行った。

その結果、以下の点が明らかになった。

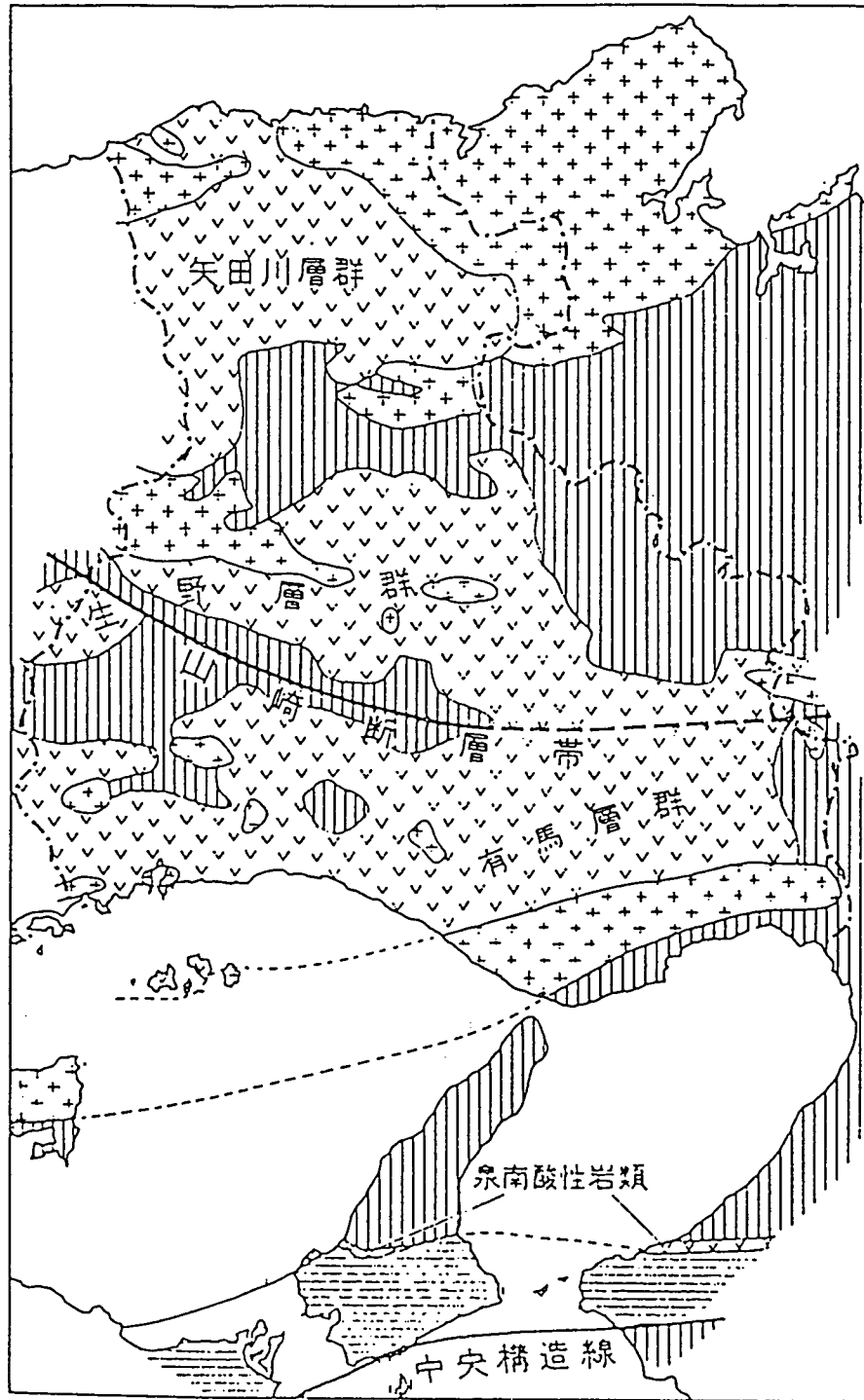
- (1) 調査結果に記載されているリニアメントについて、その付近及び延長上で断層の影響と思われる異常が認められた。(豊岡市西方地域、広島市周辺)
- (2) 地質断層として選別されているリニアメントではT $\ell$ 型、K型の異常が認められた。  
(広島市周辺)
- (3) 活断層として選別されているリニアメントではB $i$ 型に異常が認められた。  
(広島市周辺)

今後は、これまでに蓄積されたデータについて総合解析を実施し、以下の点を明らかにしていく。

- ① 分布する地質とトータル $\gamma$ 線強度との相関について
- ② 地層の割れ目の特性を把握できる可能性の有無

4 チャンネル・カーボン車による断層の活動性に関する調査研究成果

年 度	主 な 調 査 研 究 お よ び 成 果
昭和61年～62年	<p>1. 基礎試験</p> <p>(1) カーボン車の特性試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— ウィンドウ巾の調整</li> <li>— ストリッピング・ファクターの測定</li> <li>— 定速試験</li> <li>— 検出器の分解能測定試験</li> </ul> <p>(2) 測定値の再現性試験</p> <p>(3) 現場適用試験</p>
昭和 63年	<p>1. カーボン車の改良</p> <p>(1) ウィンド巾校正</p> <p>(2) スペクトル分析</p> <p>2. 活断層調査</p> <p>(1) 根尾谷断層</p> <p>(2) 深溝断層</p> <p>3. 主な成果</p> <p>地表の放射能異常が活断層付近で認められ、活断層の抽出に本調査法が有効であることが確認された。</p>
平成 1年	<p>1. 活断層、地質断層調査</p> <p>(1) 豊岡市西方</p> <p>(2) 広島市周辺</p> <p>2. 主な成果</p> <p>(1) 調査結果に記載されているリニアメントについて、その付近及び延長上で断層の影響と思われる異常が認められた。</p> <p>(2) 地質断層として選別されているリニアメントではT<math>\ell</math>型、K型の異常が認められた。</p> <p>(3) 活断層として選別されているリニアメントではB<math>i</math>型に異常が認められた。</p> <p>(4) 地層の割れ目の特性を把握できる可能性があることが分かった。</p>
平成 2年	<p>総 合 解 析</p>







- |   |   |
|---|---|
|  和泉層群                        |  広島型および山陰型花崗岩類<br>(石英閃緑岩を含む) |
|  白亜紀後期火山岩類<br>(天日川・生野・有馬・和泉) |  基盤岩類<br>(白亜期前期以前)           |

図-1 兵庫県の基盤地質図

図-2 豊岡市西方測線位置図

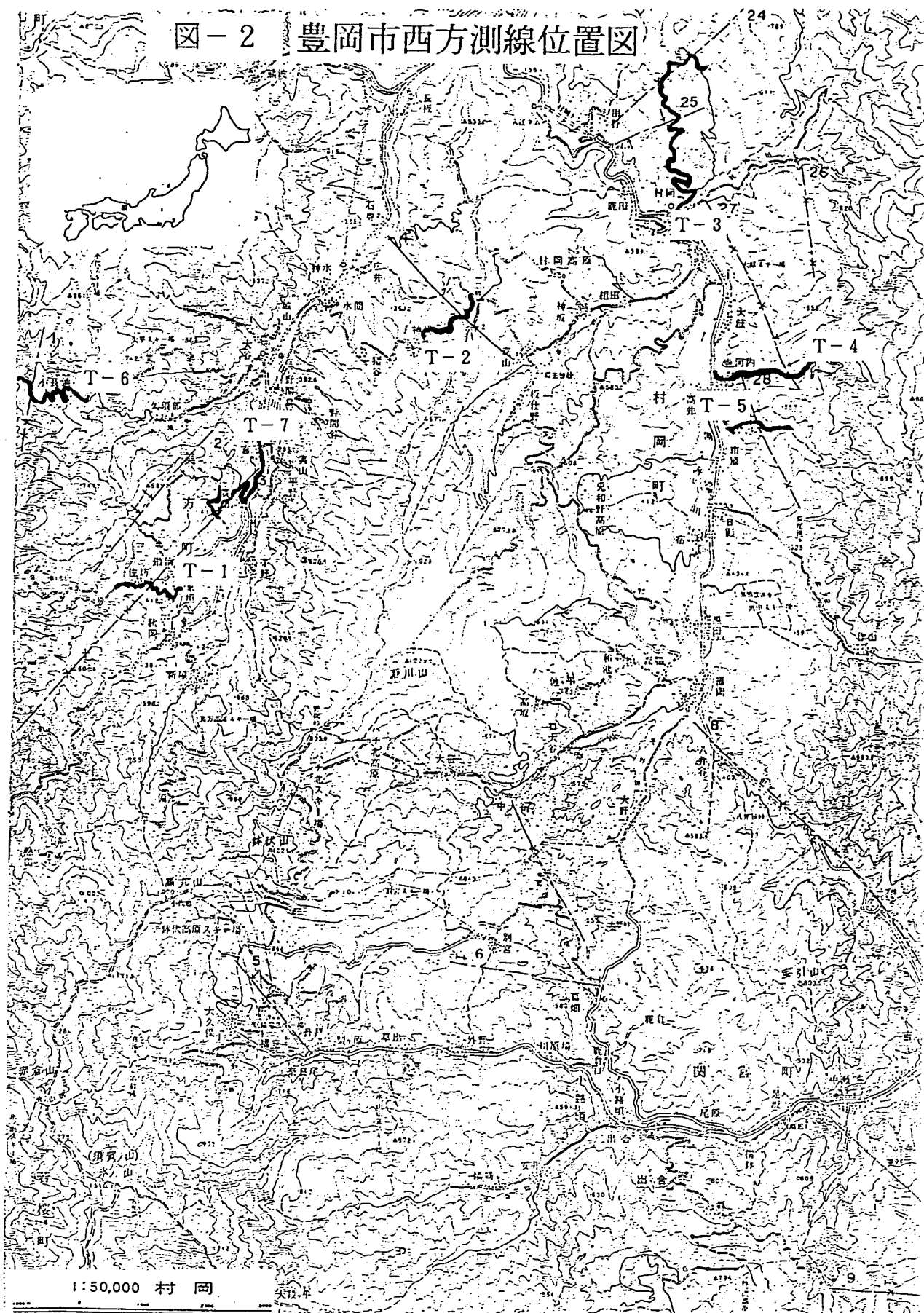


図-2 豊岡市西方測線位置図

図-3 豊岡市西方 4チャンネルカーボン調査

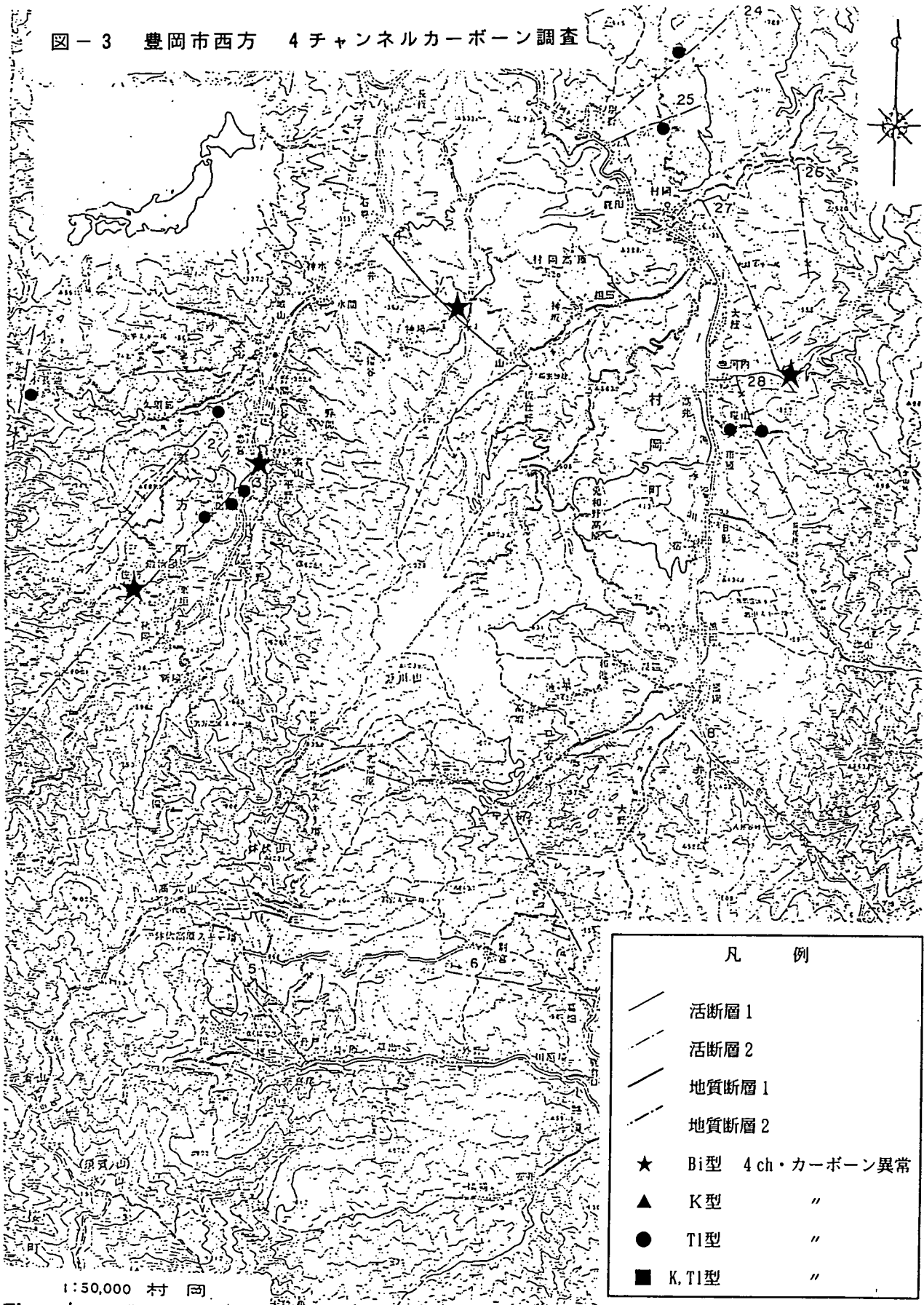
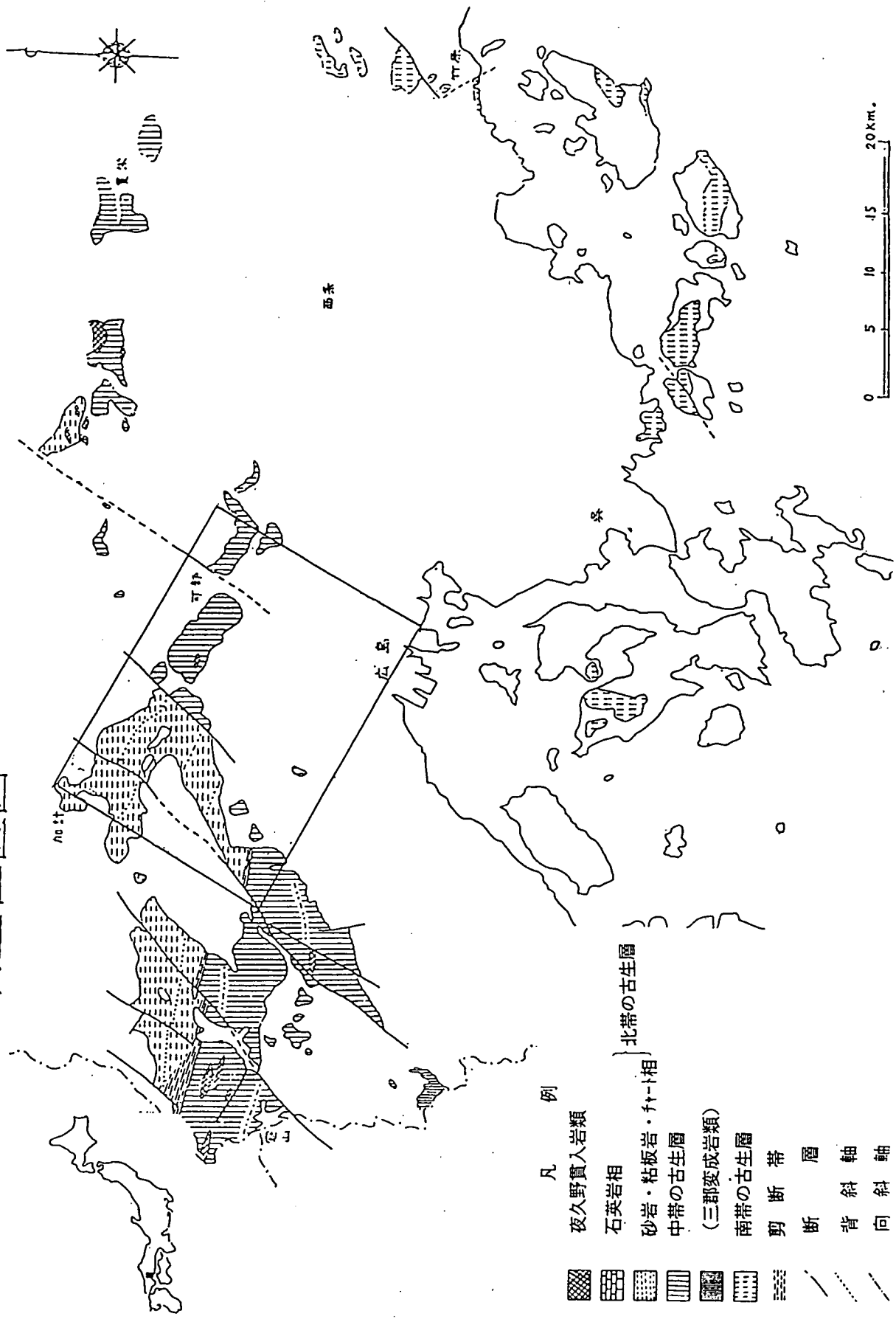


図-3 豊岡市 4チャンネルカーボン調査

図-4 広島市周辺調査位置図



凡例

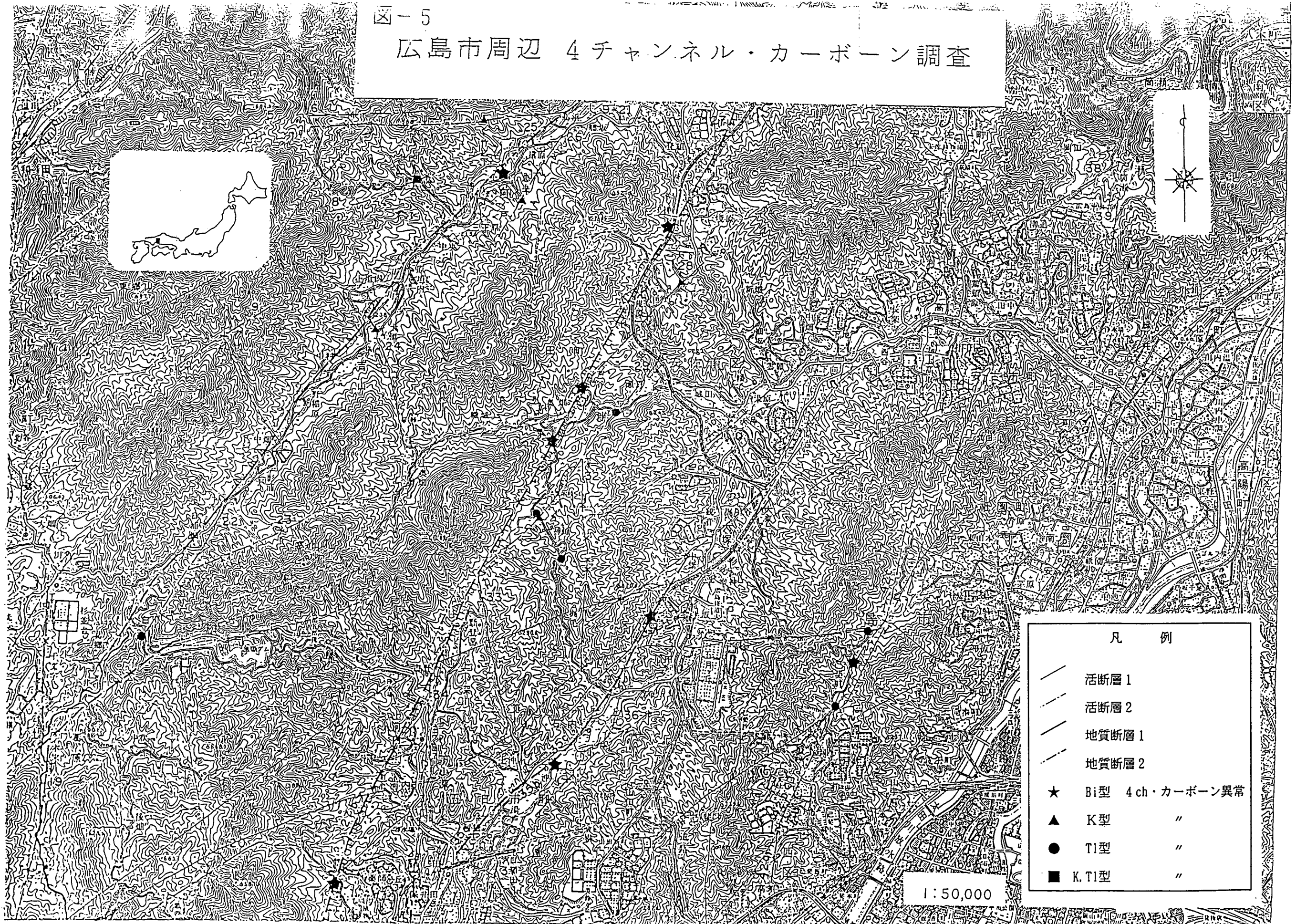
- 夜久野貫入岩類
- 石英岩相
- 砂岩・粘板岩・f-t相
- 中帯の古生層
- (三郡変成岩類)
- 南帯の古生層
- 剪断帯
- 断層
- 背斜軸
- 向斜軸

北帯の古生層



図-5

広島市周辺 4チャンネル・カーボン調査



凡 例	
	活断層 1
	活断層 2
	地質断層 1
	地質断層 2
	★ Bi型 4ch・カーボン異常
	▲ K型 "
	● T1型 "
	■ K, T1型 "

1:50,000

### 3.4 室内岩石透水試験（その3）

担当 中野 勝志  
齊藤 章（環境地質課）

#### 1. はじめに

地層処分研究における深層岩盤の水理特性の評価に際しては、対象となる時間が非常に長期間に亘ることから、今日まで不透水層あるいは半透水層のように取り扱われてきた難透水性岩盤（ $1 \times 10^{-8}$  cm/sec以下）中の地下水の流れも評価する必要がある。

岩盤の透水性を評価する手法として、室内又は原位置における透水試験があるが、透水性の低い領域における試験方法に関しては事例の少ないこともあり、その精度については十分な検討が為されていない。事実、室内透水試験については多くの報告例があるものの、試験方法に関する記述は少なく、測定精度に関する検討を行っている例はBernabe<sup>1)</sup>の研究を除き皆無に近い。

中部事業所では上述した必要性に応えるために、難透水性岩石を対象とした室内透水試験について検討し、試験装置を開発すると共に、その有効性と利用方法について検討を行ってきた。本報では、既に実用化の成された常温下での室内透水試験装置に関し、その設計や、試験の実施および試験結果の評価に際しての問題点とその解決方法、並びに開発した試験装置の性能確認を含めて実施した試験結果について報告する。また、現在進めている高温下での室内透水試験に関する検討や試験についても平成元年度における実施内容を報告する。

#### 2. 難透水性岩石の試験方法

岩石の室内透水試験方法としては、今日まで供試体の片端に一定の圧力水頭を与える定水位法、あるいは変水位法等が提言されている。しかし、難透水性岩石を対象とした場合、定水位法による室内透水試験では極めて高圧力を加えなければ排出される水量が少なくなる。また、変水位法による室内透水試験においても試験は極めて長時間を必要とする等の問題点を有している。このため、本試験においては従来法の定水位法に加え、難透水性岩石を対象にBraceらによって提案されたトランジェントパルス法<sup>2)</sup>を採用した。

##### 2-1 定水位法

定水位法は従来から室内透水試験方法として広く一般に用いられている方法である。この方法は供試体両端を一定の圧力水頭差に保ち、供試体内の飽和間隙水に動水勾配を与え、流れが定常状態になった後、単位時間当りの透過水量を測定して透水係数を求める方法である。

この場合の透水係数は式(1)で求められる。

$$k = \frac{Q}{A} \cdot \frac{\Delta \ell}{\Delta h} \dots\dots\dots(1)$$



ここで、

k : 透水係数 (cm/sec)     $\Delta l$  : 供試体の長さ (cm)    A : 供試体断面積 (cm<sup>2</sup>)  
 Q : 単位時間当りの透過水量 (cm<sup>3</sup>/sec)     $\Delta h$  : 供試体両端の全水頭差 (cm)

## 2-2 トランジェントパルス法

トランジェントパルス法は、Braceらによって提案されたものである。その後、多くの研究者により試験装置、境界条件の設定などの異なる様々な評価方法が提示されているが、いずれの評価方法も一次元の非定常浸透流の微分方程式により導かれている点に変わりはない<sup>3)</sup>。すなわち、一次元の浸透の支配方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{S_s}{k} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、

h : 間隙内全水頭 (cm)    x : 距離 (cm)    t : 時間 (sec)  
 S<sub>s</sub> : 比貯留係数 (cm<sup>-1</sup>)  
 [=  $\gamma_w$  { n C<sub>w</sub> + C<sub>err</sub> - (1 + n) C<sub>s</sub> } ]  
 $\gamma_w$  : 流体の単位体積重量 (kgf/cm<sup>3</sup>)    n : 間隙率    C<sub>w</sub> : 流体の圧縮率 (cm<sup>3</sup>/kgf)  
 C<sub>err</sub> : 岩石供試体の圧縮率 (cm<sup>3</sup>/kgf)    C<sub>s</sub> : 鉱物粒子の圧縮率 (cm<sup>3</sup>/kgf)

トランジェントパルス法は透水係数の評価手法の違いにより次のように大別される。

- ① 近似解に基づく評価方法 (Braceらの方法など)
- ② 厳密解に基づく評価方法 (Hsiehらの方法など)

この違いは岩石供試体内の貯留性を考慮するか否かに基づいたものであるが、いずれの方法も長所、短所を持っている。

### (1) Braceらの方法<sup>2)</sup>

Braceの方法は岩石供試体内の流体の貯留性を無視した方法である。Braceらは岩石を多孔質媒体と考え、鉱物粒子と水の圧縮による貯留およびダルシー則から次の微分方程式(3)を求め、更に岩石の間隙率は貯留槽の大きさに比べて十分に小さく、流体の圧縮率は岩石および岩石マトリックスのそれに比べて十分に大きいという仮定に基づき式(4)を求めている。これは、式(2)において比貯留係数 S<sub>s</sub> を無視 (S<sub>s</sub> = 0) したものである。

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{\mu C_w}{K} \cdot \left[ \frac{C_{err} - C_s}{C_w} + n \cdot \left( 1 - \frac{C_s}{C_w} \right) \right] \cdot \frac{\partial P}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、

P : 間隙圧力 (kgf/cm<sup>2</sup>)     $\mu$  : 流体の粘性係数 (cp)    K : 透水係数 (darcy)

Braceらはこの物理モデルとして図-1のように岩石供試体の中央に間隙が集中し、かつ間隙率が十分小さい ( $V_p \ll V_1, V_2, V_R$ ) モデルを考え、これに圧力パルスを与えた場合の圧力  $P_1, P_2$  の変化とダルシ-則から式(5)を求めている。

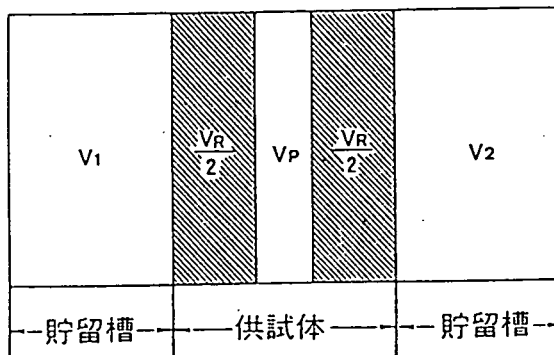


図-1 Braceらの仮定モデル<sup>2)</sup>

ここで

$V_1$  : 高圧側貯留槽の体積

$V_2$  : 低圧側貯留槽の体積

$V_p$  : 岩石供試体内の間隙の体積

$V_R$  : 岩石供試体の実質部の体積

$$P_1 - P_f = \Delta P \cdot \frac{V_2}{V_1 + V_2} \cdot \exp(-\delta t) \quad \text{-----(5)}$$

$$\delta = \frac{KA}{\mu C_w L} \cdot \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2} \quad \text{-----(6)}$$

ここで、

$P_1$  : 高圧側貯留槽の圧力 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$V_1$  : 高圧側貯留槽の体積 (cm<sup>3</sup>)

$V_2$  : 低圧側貯留槽の体積 (cm<sup>3</sup>)

$P_f$  : 圧力の収束値 (kgf/cm<sup>2</sup>)

[図-2 参照]

$\Delta P$  : 圧力パルス (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\delta$  :  $P_1 - P_f$  の時間  $t$  に対する傾き

$A$  : 供試体の断面積 (cm<sup>2</sup>)

$L$  : 供試体の長さ (cm)

試験は図-2に示すように、供試体両端に体積  $V_1, V_2$  が既知の貯留槽 (圧力容器) を設置して行う。初期状態で各貯留槽内の圧力  $P_1, P_2$  および供試体内の間隙圧力を等しく設定し、試験開始時 ( $t = 0$ ) において圧力パルス  $\Delta P$  を  $V_1$  に与えると、時間の経過と共に供試体内の動水勾配が変化し、圧力伝播が生じる。すなわち、 $P_1 - P_f$  は時間の経過に伴い指数関数的に減少して

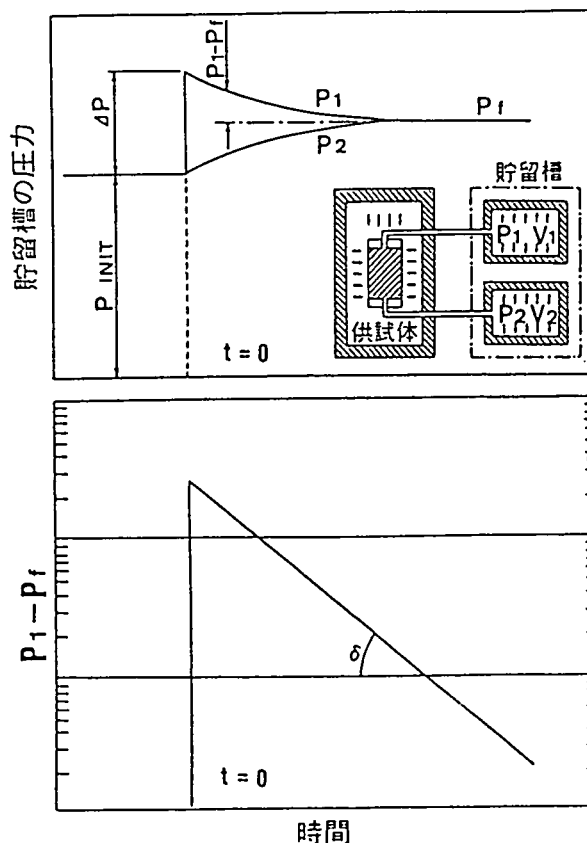


図-2 トランジェントパルス法 (Braceらの方法) 概念図

ゆき、時間  $t$  と  $P_1 - P_2$  の対数との傾き  $\delta$  から透水係数は式(6)により求められる。

(2) Hsiehらの方法

Hsiehらは式(2)について図-1に示したBraceらのモデルと同一の条件で厳密解を求め、式(7)、(8)を示している<sup>3)</sup>。これは時間、圧力、貯留槽を無次元化し、貯留槽の圧力  $P_1$ 、 $P_2$  の変化を圧力水頭比  $h_u/H$ 、 $h_d/H$  で示したものである。

$$\frac{h_u}{H} = \frac{1}{1 + \beta + \gamma} + 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-\alpha \phi_m^2)}{[\gamma^2 \phi_m^4 / \beta^2 + (\gamma^2 \beta + \gamma^2 + \gamma + \beta) \frac{(\beta + \gamma^2 \phi_m^2 / \beta)}{\phi_m^2 / \beta + (\beta^2 + \gamma \beta + \beta)}]} \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{h_d}{H} = \frac{1}{1 + \beta + \gamma} + 2 \cdot \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\exp(-\alpha \phi_m^2)}{[\gamma^2 \phi_m^4 / \beta^2 + (\gamma^2 \beta + \gamma^2 + \gamma + \beta \phi_m^2 / \beta) \frac{(\beta + \gamma^2 \phi_m^2 / \beta)}{(\beta^2 + \gamma \beta + \beta)}] \cos \phi_m} \dots\dots\dots(8)$$

ここで、

$h_u$  : 高压側貯留槽の圧力水頭変化 (cm)      $H$  : 圧力パルス [圧力水頭] (cm)

$h_d$  : 低压側貯留槽の圧力水頭変化 (cm)      $\phi_m : \tan \phi = (1 + \gamma) \phi / (\gamma \phi^2 / \beta - \beta)$  の根

$\alpha$  : 時間 [=  $kt/L^2$  S.] (無次元量)      $\gamma$  : 高压側と低側圧の貯留槽の

$\beta$  : 貯留槽と供試体の貯留量の比     貯留量の比

[=  $S_s AL / S_d$ ] (無次元量)     [=  $S_d / S_s$ ] (無次元量)

$S_u$  : 高压側貯留槽の貯留量 (cm<sup>3</sup>)      $S_d$  : 低压側貯留槽の貯留量 (cm<sup>3</sup>)

[=  $C_w \gamma_w V_u$ ]     [=  $C_w \gamma_w V_d$ ]

$V_u$  : 高压側貯留槽の体積 (cm<sup>3</sup>)      $V_d$  : 低压側貯留槽の体積 (cm<sup>3</sup>)

Hsiehらの方法によって透水係数を求める場合、次のような手順で行う<sup>4)</sup>。

- ① 縦軸に  $h_u/H$ 、 $h_d/H$ 、横軸に時間  $t$  の対数をとって測定結果をプロットする。(図-3の白丸)
- ② 貯留槽の体積の比より求められる  $\gamma$  を式(7)、(8)に代入し、 $\beta$  をパラメータとして厳密解を求め、縦軸に  $h_u/H$ 、 $h_d/H$ 、横軸に  $\alpha \beta^2$  の対数をとったグラフを作成する。(図-4参照)
- ③ 測定結果をこのグラフに重ねて横軸方向に移動させながら、厳密解の曲線群の中から最も一致する曲線を選ぶ。(図-3参照)

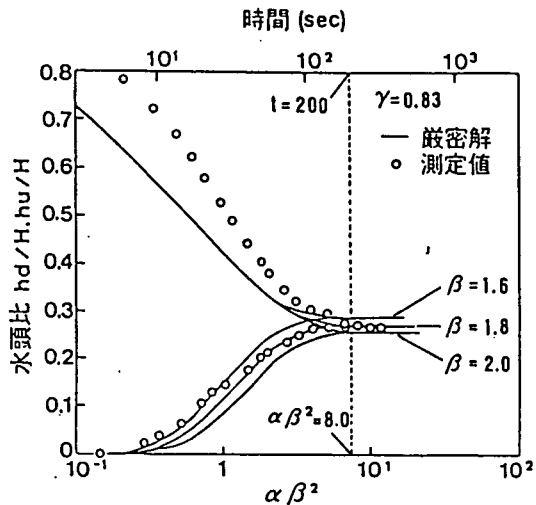


図-3 Hsiehらの透水係数の評価方法  
(三城目安山岩の場合、 $S_s = 4.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-1}$   
 $K = 6.1 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ )

- ④ 一致した曲線の  $\beta$  の値から比貯留係数  $S_r$  が求める。(  $S_r = \beta S_u / AL$  )  
 ⑤ 更に、収束点の  $\alpha \beta^2$  より求めた  $\alpha$  と、収束するまでの時間  $t$  の値から透水係数  $k$  が求められる。(  $k = \alpha L^2 S_r / t$  )

図-4 に  $\gamma = 1$  (両貯留槽の体積が等しい) の場合についてパラメータスタディを行った例を示す。この図より分かるように、 $\beta$  が 0.1 ~ 10 程度の範囲にある場合には  $h_u / H$ 、 $h_d / H$  の収束値が明確に変わる。すなわち、Hsiehらの方法により正確な透水係数を求めるには  $\beta$  を識別しやすいように貯留槽内の貯留量を岩石供試体内部の貯留量に近づけなければならないことになる。これは、貯留槽の大きさを極力小さくすることを意味しており、試験手法上、岩石内部の貯留量に対して十分な大きさの貯留槽を用意する必要がある Brace らの方法とは対照的である。

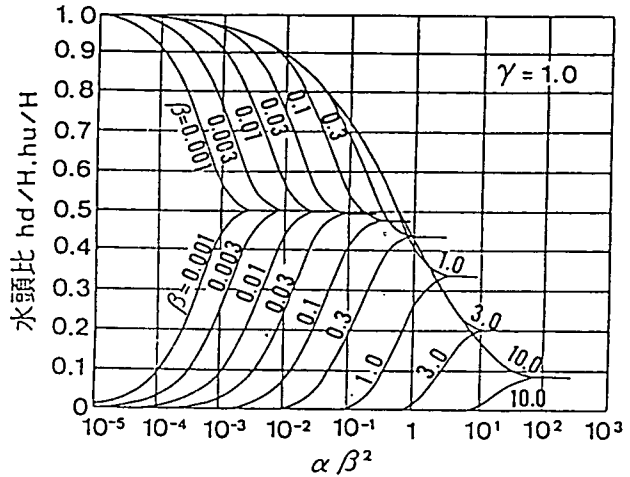


図-4 水頭比と  $\alpha \beta^2$  の関係<sup>3)</sup>

### 2-3 BraceらとHsiehのトランジェントパルス法の比較

ここで、両法の比較、検討を行ってみる。

- ① 試験方法は両者ともほぼ変わらず、簡単に実施できる。
- ② 試験装置は両者とも貯留槽を必要とするが、Hsiehらの方法が小さい貯留槽を必要とするのに対し、Braceらの方法は比較的大きな貯留槽を必要とする。ちなみに、Braceらは供試体両端に装着するペディスタイル(エンドピース)を加工して貯留槽としており、一方Hsiehらの方法では既存の配管部を貯留槽と見なした試験が可能である。
- ③ 試験に要する時間は、難透水性岩石を対象とした場合、両者とも比較的短時間で試験が可能である。圧力パルスが収束するまでに必要な時間は貯留槽の大きさと相関関係を持っているため(高圧側および低圧側の貯留槽の大きさが等しい場合には、収束に要する時間は貯留槽の容積に比例する)、一般的には貯留槽の小さいHsiehらの方法がBraceらの方法に比べ、迅速な試験が可能である。
- ④ Hsiehらの方法は厳密解に基づいた方法で、かつ比貯留係数を求めることができるため、原理的にはあらゆる透水係数の供試体に対処できるが、Braceらの方法に比べ、数オーダー試験時間が短いため、データのサンプリングインターバル、バルブの開閉操作等の制約から  $10^{-8}$  cm/sec オーダーが物理的な測定範囲上限値となる。
- ⑤ 試験結果を解析する際、Braceらの方法では  $t - \log(P_i - P_f)$  線図上の圧力減衰の傾き  $\delta$  を求めるだけでよく簡便であるが、Hsiehらの方法では各試験条件毎に、図-4に示したものと同様のフィッティングカーブを用意しなければならない。

また、カーブフィッティング及び収束点の判定の際に、個人的な判断が入りやすく、この段階で誤差が生じる可能性が高い。このため、Hsiehらの方法で透水係数を求める場合、実験的に  $S_e$  を評価することにより、本来ならば未知数である  $\beta$  ( $= S_e \cdot A L / S_e$ ) を求めてしまう手法等も考えられる。この場合、未知数は収束までの時間だけとなるため、透水係数  $k$  の評価に際しての不確実性は大幅に減少する。この様な手法を用いる場合、比貯留係数を求めるための物性値の内、流体の単位体積重量および流体、鉱物粒子それぞれの圧縮率は文献値を採用するのが妥当であろう。ただし、鉱物粒子の圧縮率については事前に鉱物分析を行っておく必要がある。また、間隙率、岩石供試体の圧縮率については、比較的容易に実測することができる。

図-3に示した試験例で用いた三城目安山岩について上記の方法によって透水係数の評価を行ってみる。物性値はそれぞれ、 $n = 0.158$ 、 $C_{oil} = 1.30 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kgf}$ 、 $C_w = 1.88 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{kgf}$  である。また、 $\gamma_w = 1.0 \times 10^{-3}/\text{kgfcm}^3$ 、 $C_w = 4.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kgf}$  とした（いずれも室温）。この場合、計算によって得られた  $S_e$  は  $1.747 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-1}$  で、実験によって得られた  $S_e$  ( $= 4.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-1}$ ) の40%程度の値となり、透水係数もほぼ同様の結果となる。この差は、主として計算に用いる諸物性値の設定、および  $\beta$ 、 $\alpha \beta^2$  の判定にあると思われるが、Hsiehらの方法のような厳密解による手法を用いる際は、 $S_e$  を物性値によって設定することも透水係数の評価を厳密に行うための一つの方法であると考えられる。

- ⑥ Brace、Hsieh両者とも試験環境の温度が一定であることが前提となっている。しかし、実際には試験中の若干の温度変化は避けられない。温度が変化すると水や貯留槽の体積が変化するため、測定している圧力が変化する。供試体両端の圧力変化を測定対象とするトランジェントパルス法では、温度変化が測定結果に非常に大きな影響を及ぼすものと考えられる。そこで、試験中に温度変化が生じた場合について両方法を比較してみる。

#### ○ Braceらの方法

温度変化に伴う間隙圧力の変動により、図-2に示す圧力の収束値  $P_1$  が温度一定の場合の収束値に対し、増加あるいは減少する可能性がある。Braceらの方法では収束値  $P_1$  は最終的に一定値に固定する必要があるため、試験中に温度が変化すると、 $t - \log(P_1 - P_2)$  線図上の直線が大きく波行し、傾き  $\delta$  の決定に支障を起す。しかし、このような現象は両貯留槽の容積を等しく、かつ供試体内の貯留槽に比べ十分な大きさの貯留槽とすることによって解消される。すなわち、これは図-4において  $\beta = 0.1$  以下の場合に相当し、この場合、 $P_1 = (P_1 - P_2) / 2$  となり、圧力の変動にもかかわらず  $P_1$  が推定できることになる。また、同じ理由でBraceらの方法は、貯留槽の設計に上記した配慮を払うことによって、必ずしも圧力パルスの収束を待って  $P_1$  を求める必要がない。このため、特に難透水性岩石の試験を行う際、所要時間の大幅な短縮が可能となり、③で示した貯留槽の大型化による試験時間の増加は相殺される。

○ Hsiehらの方法

温度変化に伴う間隙圧力の変動により、 $\beta$ に対応する収束値が変化する。しかし、この方法では原則として $\beta$ が未知数のため、補正等によって測定誤差を修正することは困難である。

以上の比較検討の結果、精度、試験および解析の効率等より、トランジェントパルス法としては、Braceの方法を採用した。

3. 試験装置の構造および性能に関する検討

前章では定水位法、トランジェントパルス法の紹介、およびトランジェントパルス法の適用に関する理論的な検討内容について述べた。本章では、難透水性岩石に対して定水位法やトランジェントパルス法を適用する際に考慮すべき事項、および試験装置の構成・設計等に関して注意すべき事項の抽出と、個々の問題点に関する理論的かつ実験的な検討結果について述べる。

3-1 定水位法

(1) 側面流（供試体－メンブレン間の流れ）

側面流の発生は試験結果に大きな影響を与えるため、本来ならば最も大きな検討の課題となるべきであるが、試験装置個々の仕様の違いのため、具体的な数値を挙げた検討はあまり為されておらず、渡辺<sup>5)</sup>、高橋<sup>6)</sup>らによって差圧（拘束圧力－間隙圧力）

5kgf/cm<sup>2</sup>から10kgf/cm<sup>2</sup>程度が必要と

の実験的な検討が報告されているにすぎない。

本試験では図-5に示す試験装置を用い検討を行った。側面流は用いるメンブレンの材質や厚さ、供試体表面の整形精度等により発生状態が左右されるため、側面の表面形状をストレート、みぞ入り等、変化させたダミー供試体を用いた。メンブレンは市販されているゴム中、最もガス透過係数の小さなゴムの一種であるクロロプレングムを用いた。このクロロプレングムの厚さは、長さ10cmの供試体（ $k = 10^{-12}$  cm/secオーダー）の両端に5 kgf/cm<sup>2</sup>の差圧、有効応力100 kgf/cm<sup>2</sup>を100cpの

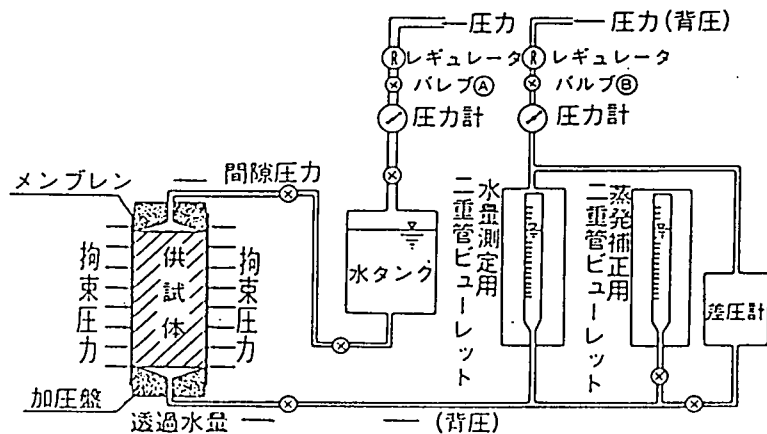


図-5 定水位法の試験装置概念図

油で加えることを想定し、2～3mmとしている。試験にはφ50×100mmのダミー供試体を用いており、メンブレンが加圧盤にかかる部分は、スチールバンドで拘束した。試験は高圧側圧力水頭を5000cmの状態に拘束圧力50kgf/cm<sup>2</sup>より徐々に下げ、側面からの漏水を確認する方法で行った。その結果、ストレートのダミー供試体を用いた場合では、拘束圧力と高圧側圧力水頭の間には最低で7kgf/cm<sup>2</sup>以上の差圧が必要となることが分かった。また、みぞ入り等のダミー供試体を用いた場合でも、シリコン系の充填材を用いて凹凸部を平滑化することにより、ストレートのダミー供試体を用いた場合と同じ結果が得られた。

(2) 透過水量の測定精度

定水位法では供試体片端より排出される透過水量を測定した透水係数を評価するため、その測定装置の精度は直接、透水係数の評価に影響する。特に難透水性岩石を対象とした場合、透過水量が極めて少なくなるために装置の設計の段階において、目的とする装置性能を満たす測定機器を選定しなければならない。

本試験では、透過水量の測定のために図-5に示す2重管ビューレット内の水位を差圧計（容量0.1kgf/cm<sup>2</sup>）、分解能FS±1%）で読み取る構造とした。この場合、透過水量の測定精度はビューレットの測定容量と長さ、差圧計の容量と分解能より求めることができる。ここでは、2重管ビューレットに容量5cm<sup>3</sup>、長さ50cmのものを用い、差圧計の分解能を考慮をして2cm<sup>3</sup>以上の透過水量を得る測定方法とした。このため、測定精度は±5%以内であった。

(3) 室温変化に伴う試験水の体積変化、漏洩、蒸発

定水位法による室内透水試験ではビューレットに排出してくる透過水量で透水係数を評価するため、ビューレットの水位変化が供試体片端より排出される透過水量に完全に対応していることが必要である。しかしながら、実際には配管接続部等からの漏洩、ビューレット内での試験水の蒸発、更に室温の変化に伴う配管および配管内の試験水の体積変化が透水係数の評価に大きな誤差を与えてしまう

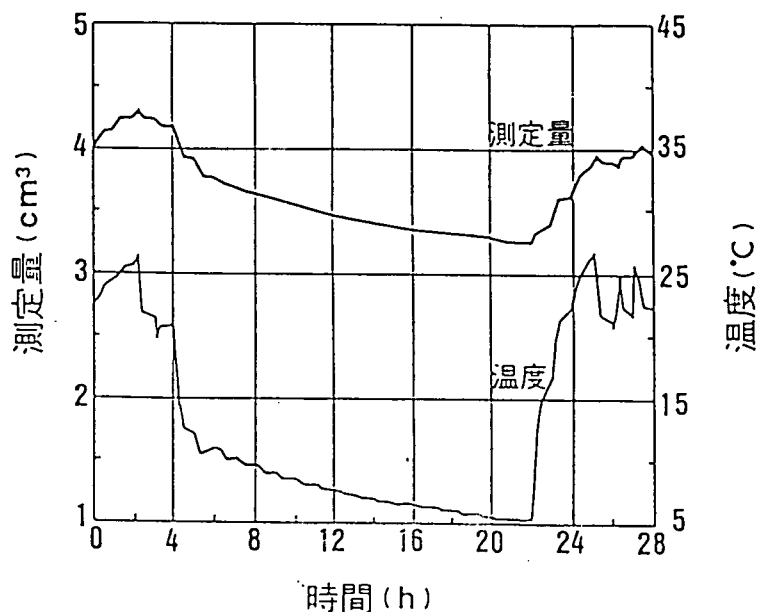


図-6 室温変化に伴う試験水の体積変化  
(温度制御を行っていない場合)

ことが報告されている<sup>5) 7)</sup>。これらの内、最初の2つについては基本的に解決可能

である。すなわち、漏洩については図-5に示す供試体両端に双方のレギュレータより等しい圧力を加え、供試体内および配管部の圧力が安定した後、バルブ④、⑤を閉鎖して圧力の低下の有無により確認できる。また、蒸発に関して図-5中に示すように蒸発補正用2重管ビューレットを設置して補正できる。一方温度変化に伴う試験水の体積変化は温度制御精度の問題から限界がある。

図-6は図-5に示した試験装置を用い、圧力容器内にダミー供試体を設置し、圧力容器から水量測定用二重管ビューレットまでの水量を連続測定した一例である。この試験では、空調機による室温制御は測定開始時から4時間まで、および22時から28時間まで行われた。この場合、室温は5.4℃(21時間48分)から26.7℃(25時間12分)まで大きく変化し、これに伴いビューレットの水位が大きく変化している(図中では体積に換算して表示)。測定開始後21時間48分から25時間12分までの間を見ると、温度差21.3℃で配管内の試験水は0.68cm<sup>3</sup>膨張しており、これは、 $1 \times 10^{-8}$  cm/secの透水性を有する供試体(φ50×100mm)を対象とした場合、約19%の測定誤差に相当する。この測定結果より、試験装置周辺の温度環境の適切な制御が極めて重要なことが分かる。このため、開発した試験装置においては以下に示す対策を施した。

- ① 空調機を連続運転し、試験室の温度を常に一定に保つ。
- ② 日光の直射を避ける等し、試験室を外部環境から隔離する。
- ③ 温度影響を受け易い配管部を極力短くする。

次に、上記した①、②、③の対策を施した場合の測定結果を図-7に示す。

この試験での測定時間は24時間、室温は19℃±1.5℃以内、試験開始時のビューレットの水位は3cm<sup>3</sup>である。この図より、室温変化に伴いビューレット内の試験水の水位も同じように変化しているが、前回の試験に比べて無視し得る極微量なものとなっている。また、試験開始時と終了時の水位が0.13cm<sup>3</sup>異なっ

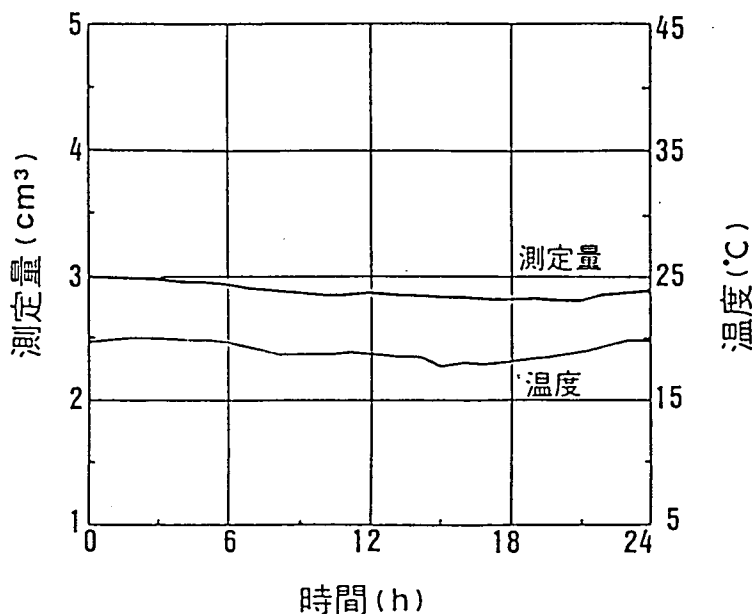


図-7 室温変化に伴う試験水の体積変化  
(温度制御を行った場合)



いるが、仮にこの変化量が漏洩、蒸発によるものとし、 $1 \times 10^{-8}$  cm/secの透水性を有する供試体を対象として試験を行ったものと仮定すると、4%弱の誤差に相当する。この程度の影響であれば定水位法により $10^{-8}$  cm/secオーダーまでの供試体を対象としても、生じる誤差は無視し得る程度である。

本節では定水位法に関し、特に検討の必要な項目について述べたが、この他に間隙内圧力の制御精度、配管内の圧力損失、間隙内圧力供給タンクの貯留量、透過水量測定装置のデータサンプリングインターバル、および透過水量測定装置の測定容量等についても、目的とする装置性能の許容範囲を満たすように設計した。

### 3-2 トランジェントパルス法 (Braceらの方法) に関する検討

#### (1) 解析モデルに起因する誤差

Braceらの方法は、  
は、前章で述べたように本来有限値である比貯留係数 $S_r$ を無視しているため、貯留槽内の貯留量に比べ岩石供試体内の貯留量が大きくなるに従い、透水係数の評価に誤差が生じてくる。

図-8はHsiehがBraceらの方法を評価したもので、比貯留係数 $S_r$  ( $\beta$ に比例する) の変化に対応してBrace

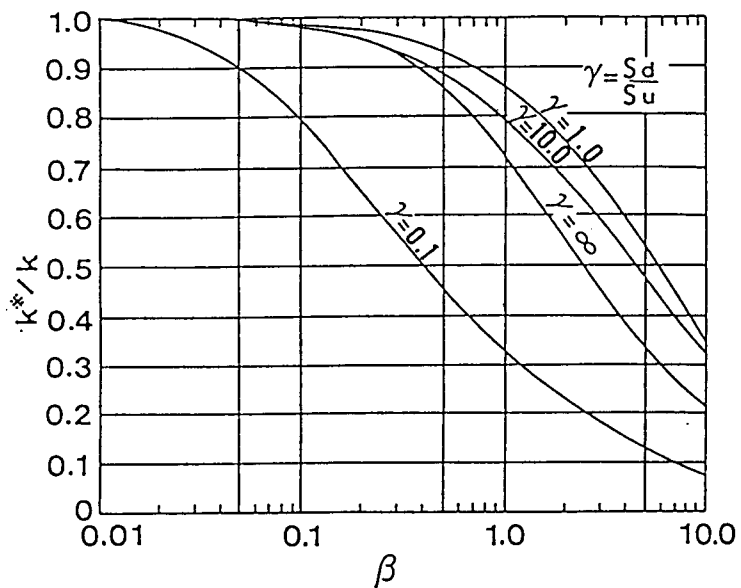


図-8 Braceらの方法によって求めた透水係数と $\beta$ の関係<sup>3)</sup>

らの方によって評価した透水係数 ( $k^*$ )

と厳密解によって評価した真の透水係数 ( $k$ ) の比が変化する様子を示したものである<sup>4)</sup>。開発した試験装置では高圧側と低圧側の貯留槽の体積を等しくしたため $\gamma = 1$ である。図より、比貯留係数 $S_r$ が大きくなり、 $\beta$ が0.1を超えると誤差も急激に大きくなる。更に、 $\beta$ が0.5を超えると10%以上の誤差が生じることが分かる。ここで、式(8)の $\beta$ は次のように示される。

$$\beta = \frac{S_r \cdot A L}{S_u} = \frac{\gamma \cdot [n C_w + C_{rr} (1+n) C_s] A L}{C_w \cdot \gamma \cdot V_u} \quad \text{.....(11)}$$

そこで、Braceらの仮定を維持するために、 $\beta$ を小さくするための諸要因についてパラメータスタディを行ってみる。

① 式(11)から分かるように  $AL/V_0$ 、すなわち供試体の容積と貯留槽の容積の比を変化させることによって供試体の物性とは無関係に  $\beta$  を小さくできる。例えば、 $\phi 50 \times 100$  mm の供試体で  $1000\text{cm}^3$  の貯留槽を用いた場合、 $AL/V_0 = 0.196$  となる。

②  $C_{eff}$ 、 $C_s$ 、 $n$  の値が  $\beta$  に及ぼす影響について、稲田花崗岩と三城目安山岩のデータを用いて、パラメータスタディーを行った結果を表-1に示す。

表-1 岩種別の諸物性値  $\beta$  <sup>\*)</sup>  
(供試体サイズ  $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、貯留槽容積  $1000\text{cm}^3$ )

岩種 物性	稲田花崗岩	三城目安山岩
$C_{eff}$ ( $\text{cm}^2/\text{kgf}$ )	$5.68 \times 10^{-4}$	$1.30 \times 10^{-4}$
$C_s$ ( $\text{cm}^2/\text{kgf}$ )	$1.19 \times 10^{-4}$	$1.88 \times 10^{-4}$
$n$ (%)	0.8	15.8
$\beta$	0.023	0.083

式(11)および表-1より、 $\beta$  に大きな影響を与えるのは  $AL/V_0$  および  $C_{eff}$  であることが分かる。これより、 $\beta$  を小さくするためには、 $C_{eff}$  を小さくするか、 $AL$  を小さくする、あるいは  $V_0$  を大きくする等の方法が考えられる。しかし、 $C_{eff}$  については供試体固有の物性であるため、変えることはできない。また、 $AL$  についても粒径を考慮すると供試体サイズ ( $\phi 50 \times 100\text{mm}$ ) をむやみに小さくすることはできない。このため、 $\beta$  を小さくするには、 $V_0$  を大きくする方法が唯一の手段となる。 $\beta$  が0.5を超えるような貯留性の大きな供試体は、試験中に体積変化するため、トランジェントパルス法の測定対象外と考えられている。ここでは、図-9に示すシステム全体の測定精度を満たすために、 $\beta$  の上限を0.1以下と定めた。

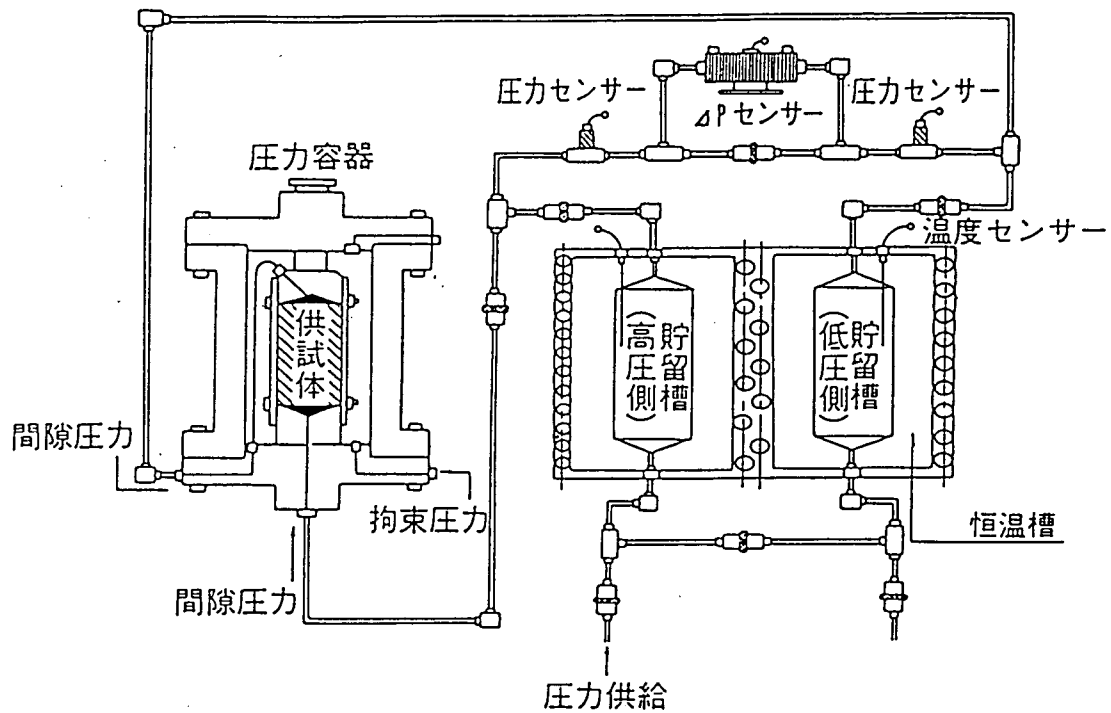


図-9 トランジェントパルス法の試験装置概念図

(2) 貯留槽の設計

(a) 貯留量の容積

稲田花崗岩と三城目安山岩を例に、貯留槽の容積についての検討を行ってみる。  
 $\beta$ が0.1を超えると誤差が大きくなることは前項で述べたが、 $\beta$ を0.1以下とするためには稲田花崗岩と三城目安山岩では $AL/V$ を以下の値とする必要がある。

稲田花崗岩  $AL/V < 0.85$

三城目安山岩  $AL/V < 0.24$

上記した $AL/V$ より供試体サイズを $\phi 50 \times 100\text{mm}$ として、それぞれに対応する貯留槽の最低容積を算出すると次のようになる。

稲田花崗岩  $V > 230\text{cm}^3$

三城目安山岩  $V > 818\text{cm}^3$

このため、開発した試験装置においては安全率を見込み貯留槽容積を $1000\text{cm}^3$ とした。

(b) 貯留槽の剛性

Braceらの方法を始めとしたトランジェントパルス法による室内透水試験においては、原則として加圧、減圧に伴う貯留槽および配管部の変形を考慮せず、貯留槽内の試験水の体積変化量のみ取り扱っている。これは、以下に示す理由によるものである。

- ① 試験水の体積圧縮率（20℃において $0.45\text{GP} \cdot^{-1}$ ）が貯留槽の材質である銅の体積圧縮率（20℃において $6.0\text{TP} \cdot^{-1}$ ）に比べて2オーダー大きく、貯留槽の肉厚を十分にとれば貯留槽の変化量は試験水の体積変化量に比べて無視し得る。
- ② 貯留槽の変化量を考慮すると、厳密解による式の誘導ができなくなり、試験結果の解析、評価もできなくなる。

しかしながら、貯留槽の肉厚が相対的に薄く、剛性が不足した場合、見掛け上の試験水の体積変化量の占める貯留槽の弾性変形量分が無視できなくなる可能性がある。このため、試験装置の大きさ、可搬性、メンテナンスの難易度等を考慮し、本試験では内径8 cm、肉厚6 cmの円筒を加工したものを貯留槽（弾性係数 $E = 2.1 \times 10^{-6} \text{kgf/cm}^2$ ）に用いた。

(3) 室温変化に伴う間隙内圧力の変動

トランジェントパルス法による室内透水試験は計測系を閉鎖し、供試体両端に設置した貯留槽の圧力変化を測定することにより透水係数を求めるため、室温の変化に伴う間隙内圧力の変動が透水係数の評価に大きな誤差を与えてしまう可能性がある<sup>8) 9)</sup>。特に $10^{-12} \text{cm/sec}$ 以下の難透水性岩石を対象とした試験では、試験時間が数日から数十日に及ぶため、試験装置周辺の温度変化の影響が顕著となってくる。この間隙圧力の変動を最小限にとどめる最も効果的な方法は、試験装置全てを恒温水槽の中に設置し、熱容量の大きな恒温水槽内の水温を一定温度に保ち、間接的に試験水の温度制御を行う方法が考えられる<sup>9)</sup>。しかし、この様な方法はメンテナンス上の問題が残り、試験開始準備に長時間を必要とする等の問題点を有している。Braceは大型恒温室内に試験装置を設置し、 $\pm 0.1^\circ\text{C}/\text{日}$ の温度制御精度を得ているが、設定温度を室温よりも数十℃高めにしなければならないという問題が残っている。これは、透水係数の温度依存性を考えると極めて重大な問題である<sup>10) 11)</sup>。本試験で使用した試験装置では、室温の制御および試験装置本体の温度制御に際して、以下に示す対策を行っている。

- ① 試験室を密閉構造とし、外部環境から隔離する。
- ② 空調機を連続運転し、試験室に隣接した温度制御室から間接的に試験室温度を制御する。
- ③ 貯留槽外壁を銅パイプで取り巻き、この中を試験室温と同温の水を自動巡回させる温度制御装置を設ける。
- ④ 貯留槽とその周辺配管、および圧力センサーを保護容器に納め、この容器内の空間部には断熱材を充填する。
- ⑤ その他の配管部においても管長を極力短くし、断熱処理を施す。

図-10は上記した対策を行った試験装置を用いて、室温変化に伴う間隙圧力の変動を測定したものである。この試験では圧力容器内にダミー供試体を設置し、室温および貯留槽の温度制御を行うと共に、拘束圧力 $240\text{kgf/cm}^2$ 、高圧側間隙圧力 $P_1$ 、 $200\text{kgf/cm}^2$ 、低圧側間隙圧力 $P_2$ 、 $190\text{kgf/cm}^2$ を加え、96時間の連続記録を行った。

本試験装置では貯留槽の温度制御を行わなかった場合、室温 $1^\circ\text{C}$ の変化に対して $4\text{kgf/cm}^2$ 程度の間隙圧力の変動が確認されている。しかし、この試験では室温が $23^\circ\text{C}$ から $\pm 2^\circ\text{C}$ 変化しているにもかかわらず、間隙圧力の変動は $\pm 1\text{kgf/cm}^2$ 以内にとどまり、貯留槽の温度制御および断熱処理による温度制御効果の高いことが示されている。また、図中の90時間以降の部分は強制的に室温を変化させたものであるが、 $1^\circ\text{C}$ 当りの間隙圧力の変動は $0.3\text{kgf/cm}^2$ 以内にとどまり、室温 $1^\circ\text{C}$ 当りの変化に伴う計測系の温度変化の影響は温度制御を行わなかった場合の $0.1^\circ\text{C}$ 相当分以下となる。

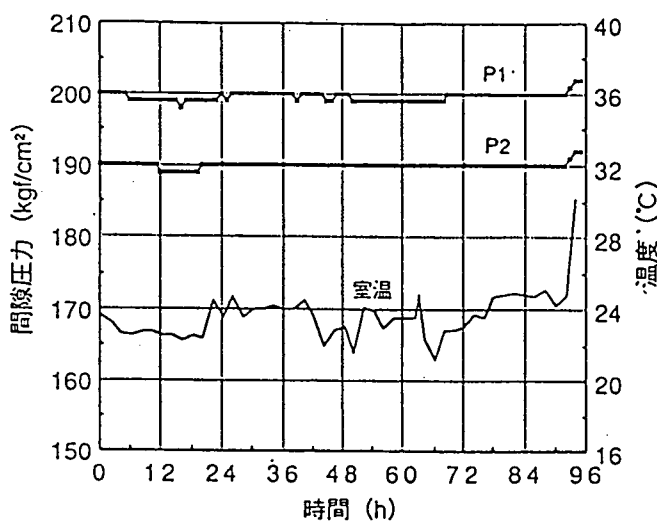


図-10 室温変化に伴う間隙内圧力の変動

(室温と間隙圧力)

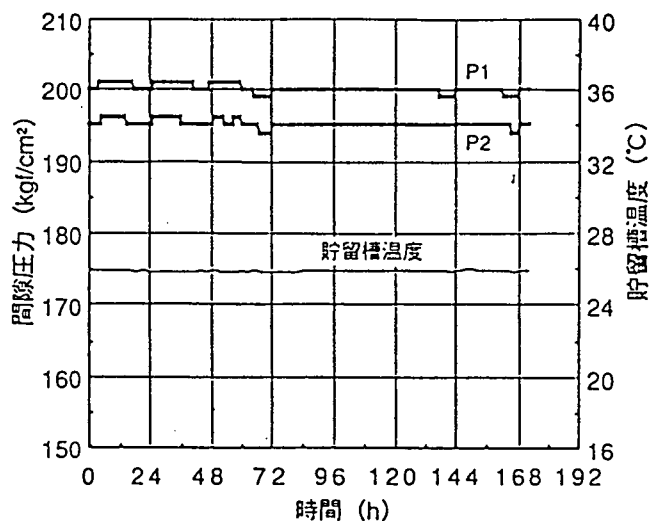


図-11 室温変化に伴う間隙内圧力の変動

(貯留槽温度と間隙圧力)

図-11は前回の試験と同様、室温および貯留槽の温度を制御し、拘束圧力を $230\text{kgf/cm}^2$ 、高圧側間隙圧力 $200\text{kgf/cm}^2$ 、低圧側間隙圧力 $190\text{kgf/cm}^2$ を加え、168時間連続記録したものである。この結果でも、間隙圧力の変動は $\pm 0.1\text{kgf/cm}^2$ 以下にとどまっている。

これ以上の精度で間隙圧力の変動を制御するためには、室温より高精度に制御しなくてはならず、前述した試験装置全てを恒温水槽の中に設置し、恒温水槽内の水温を一定に保つ等の方法を行わねばならない。

### 3-3 試験装置の測定範囲と測定精度

前節までの試験装置の構造および性能に関する検討の結果、開発した室内透水試験装置では、以下に示す測定範囲と測定精度が得られた。

定水位法における測定範囲下限は室温変化に伴う試験水の体積変化、漏洩、蒸発の検討により  $1 \times 10^{-8}$  cm/secとなる。ちなみに、測定範囲上限は配管内の圧力損失を考慮し、 $1.5 \times 10^{-4}$  cm/secとしている。また、トランジェントパルス法における測定範囲上限は、解析モデルに起因する誤差および貯留槽の容積に関する検討から  $10^{-7}$  cm/secオーダーまで、下限は室温変化に伴う間隙圧力の変動の測定時間168時間を限度とした場合、 $3.7 \times 10^{-12}$  cm/secとなる。更に、貯留槽内の容積変化や温度補正から、全体の測定精度は±10%以内であった。なお、この値は供試体両端の圧力水頭差を5000cm以内に定めた時のものである。

## 4. 試験結果

これまでに得られた成果に基づき、本試験装置の性能確認を含めて実施した試験結果を以下に示す。この試験での供試体サイズはφ50×100cmで試験水は10～20torrの真空圧で24時間脱気したイオン交換水、供試体も同様な処理を施し、十分に飽和させている。また、定水位法の試験では5 kgf/cm<sup>2</sup>の背圧を加え、溶存気体の計測系への影響も最小限にとどめている<sup>12) 13)</sup>。

初めに、定水位法で福島県産の三城目安山岩を用い、同岩体より採取した3個の供試体で繰り返し3回づつの試験を行った。試験条件は拘束圧力50kgf/cm<sup>2</sup>供試体両端の圧力水頭差5000cmである。物理試験結果および試験結果を表-2、表-3に示す。

表-2 E-1からE-2の物理試験結果 表-3 定水位法による三城目安山岩の試験結果

サンプル番号	岩種	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間隙率 (%)
E-1	三城目安山岩	2.31	15.38
E-2	三城目安山岩	2.31	14.67
E-3	三城目安山岩	2.31	14.96

試験番号	圧力パルス (kgf/cm <sup>2</sup> )	拘束圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	透水係数 (cm/sec)
E-1a	5.0	50.0	$4.6 \times 10^{-8}$
E-1b	5.0	50.0	$4.5 \times 10^{-8}$
E-1c	5.0	50.0	$4.4 \times 10^{-8}$
E-2a	5.0	50.0	$1.1 \times 10^{-7}$
E-2b	5.0	50.0	$1.1 \times 10^{-7}$
E-2c	5.0	50.0	$9.8 \times 10^{-8}$
E-3a	5.0	50.0	$6.5 \times 10^{-8}$
E-3b	5.0	50.0	$6.4 \times 10^{-8}$
E-3c	5.0	50.0	$6.2 \times 10^{-8}$

表-3の試験結果より、データの再現性の高いことが分かる。また、各供試体とも試験毎に透水係数が若干低くなる傾向にある。これは、目詰まり等による経時変化（供試体内の鉱物粒子が溶け、間隙内で目詰まりを起こし、時間の経過と共に単位時間当りの透過水量が減少する傾向）と考えられる。<sup>14) 15)</sup>。

次に定水位法およびトランジェントパルス法の測定範囲の重複する部分において、三城目安山岩を用いトランジェントパルス法で繰り返し4回、定水位法で1回の試験を行った。トランジェントパルス法の試験条件は拘束圧力198kgf/cm<sup>2</sup>、間隙内圧力100kgf/cm<sup>2</sup>、圧力パルス5kgf/cm<sup>2</sup>、定水位法の試験条件は拘束圧力100kgf/cm<sup>2</sup>、供試体両端の圧力水頭差5000cmである。物理試験結果および試験結果を表-4、表-5に示す。

表-4 K-1の物理試験結果

サンプル番号	岩種	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間隙率 (%)
K-1	三城目安山岩	2.30	15.47

表-5 定水位法及びトランジェントパルス法による三城目安山岩の試験結果

試験番号	試験方法	間隙圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧力パルス (kgf/cm <sup>2</sup> )	拘束圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	透水係数 (cm/sec)
K-1a	トランジェントパルス法	100.0	5.0	198.0	$3.2 \times 10^{-8}$
K-1b	トランジェントパルス法	100.0	5.0	198.0	$2.8 \times 10^{-8}$
K-1c	トランジェントパルス法	100.0	5.0	197.0	$3.0 \times 10^{-8}$
K-1d	トランジェントパルス法	100.0	5.0	197.0	$2.8 \times 10^{-8}$
K-1e	定水位法	10.0	5.0	100.5	$3.7 \times 10^{-8}$

表-5の試験結果より、トランジェントパルス法により得られたデータは再現性も高く、定水位法との比較においても、ほとんど差異のないデータが得られている。3番目に、岐阜県東濃地域のボーリング孔より得られた連続するコアサンプルより15cmおきに3個の供試体を採取し、トランジェントパルス法を用いて3個中1個については繰り返し2回の試験を行うと共に、他の2個の試験結果とも比較を行った。試験条件は、拘束圧力160kgf/cm<sup>2</sup>、間隙圧力100kgf/cm<sup>2</sup>、圧力パルス5kgf/cm<sup>2</sup>である。物理試験結果および試験結果を表-6、表-7に示す。

表-6 AN-2からAN-4の物理試験結果

サンプル番号	岩種	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間隙率 (%)
AN-2	花崗岩	2.61	0.68
AN-3	花崗岩	2.60	0.67
AN-4	花崗岩	2.61	0.67

表-7 トランジェントパルス法による土岐花崗岩の試験結果

試験番号	間隙圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧力パルス (kgf/cm <sup>2</sup> )	拘束圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	透水係数 (cm/sec)
AN-2a	100.0	5.0	160.5	$2.4 \times 10^{-10}$
AN-2b	100.0	5.0	163.5	$2.0 \times 10^{-10}$
AN-3	100.0	5.0	165.5	$1.5 \times 10^{-10}$
AN-4	100.0	5.0	155.5	$2.2 \times 10^{-10}$

この試験結果より、同一による繰り返し2回の試験データは再現性も高く、他の2件との比較においてもほぼ等しい値が示された。

最後に西南日本外帯結晶片岩を用いてトランジェントパルス法による繰り返し2回の試験を行った。試験条件は拘束圧力50kgf/cm<sup>2</sup>、間隙内圧力1kgf/cm<sup>2</sup>、圧力パルス2kgf/cm<sup>2</sup>である。物理試験結果および試験結果を表-8、表-9に示す。

表-8 SA-1の物理試験結果

サンプル番号	岩種	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間隙率 (%)
SA-1	片岩	2.75	0.37

表-9 トランジェントパルス法による西南外帯結晶片岩の試験結果

試験番号	間隙圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧力パルス (kgf/cm <sup>2</sup> )	拘束圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	透水係数 (cm/sec)
SA-1a	1.0	2.0	50.0	$1.6 \times 10^{-12}$
SA-1b	1.0	2.0	50.0	$1.0 \times 10^{-12}$



この試験により得られた結果は前章で報告した本試験装置の測定範囲よりも低い値であることが分かる。ここでの測定期間は10日間弱と、これまでの試験の中で最も長く、加えて外気温の日変動も大きく、これに伴って試験室の温度制御も $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内と若干低下した。このため、試験データへの影響も懸念されたが、得られた透水係数はほぼ等しい値が示され、 $10^{-12}\text{cm}/\text{sec}$ オーダーにおいても安定した試験結果が得られることが確認された。

## 5. 高温下での室内透水試験に関する検討

本報で取り上げる高温下での室内透水試験は、 $100^{\circ}\text{C}$ までを対象としている（地層処分研究においては岩盤中の水理特性を把握する上で、対象となる温度環境は $100^{\circ}\text{C}$ 以下であるため）。常温下での室内透水試験方法としては定水位法とトランジェントパルス法を用いてきた。しかし、高温下での室内透水試験方法についてはトランジェントパルス法のみ取り扱っている。この理由は、定水位法では供試体片端からの排出水量を計測対象としているために、数 $\text{cm}^3$ から数 $10\text{cm}^3$ の試験水が供試体中を透過するため、一定量の試験水を高温状態で安定に保ち、間隙圧力として供給する必要がある。これは、圧力容器と圧力供給系を同温で安定に制御することを意味しており、前述した室温変化に伴う試験水の体積変化や圧力変動を考慮すると、試験装置を恒温水槽内にでも設置しない限り、その制御は極めて困難と判断したためである。しかし、トランジェントパルス法による高温下での室内透水試験においては、供試体両端の圧力変化を計測対象としているために、実際に供試体中を透過する試験水の量は極めて少なく、圧力容器内の加圧盤に貯留されている水量で十分に対応できる。このため、圧力容器内の温度を安定に保つことで試験は可能となる。

トランジェントパルス法による高温下での室内透水試験を実施する場合、前章まで示した常温下での検討項目以外に、以下に示す新たな検討が必要と考えられる。

### ① 温度制御性能

圧力容器内の供試体の内部温度が設定温度に安定に保たれているか否か。また、供試体内部温度と外壁で、どの程度の温度差が生じているか、更に供試体内部温度が安定するのにどの程度の時間を必要とするか等の実験的な検討（本試験においては $50^{\circ}\text{C}$ から $100^{\circ}\text{C}$ までを対象とし、その制御精度は常温での制御精度と同じく $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内としている）。

### ② 試験装置の構造と使用材料

昇温により使用材料の熱膨張や材質に変化が生じ、これに伴って拘束圧力用シリコンオイルの間隙内圧力系や供試体内部への混入等の実験的な検討。

### ③ 高温下での透水係数の評価方法

当方法では圧力容器のみ昇温するために、単位体積当たりの試験水の体積は、高温下の供試体内を透過する際に増大し、圧力測定を行っている貯留槽では減少する。このため、結果として透水係数を過少評価する可能性があり、試験水の密度と圧縮率の変化について補正が必要と考えられる<sup>8)</sup>。

上述した検討項目の中で、平成元年度においては特に①の温度制御性能について、試験装置の構造と試験方法の検討、および実際に50℃から100℃までを10℃単位で6段階に分けての温度制御性能の確認試験を実施した。図-12はこの試験で用いた圧力容器内の温度計測装置と加

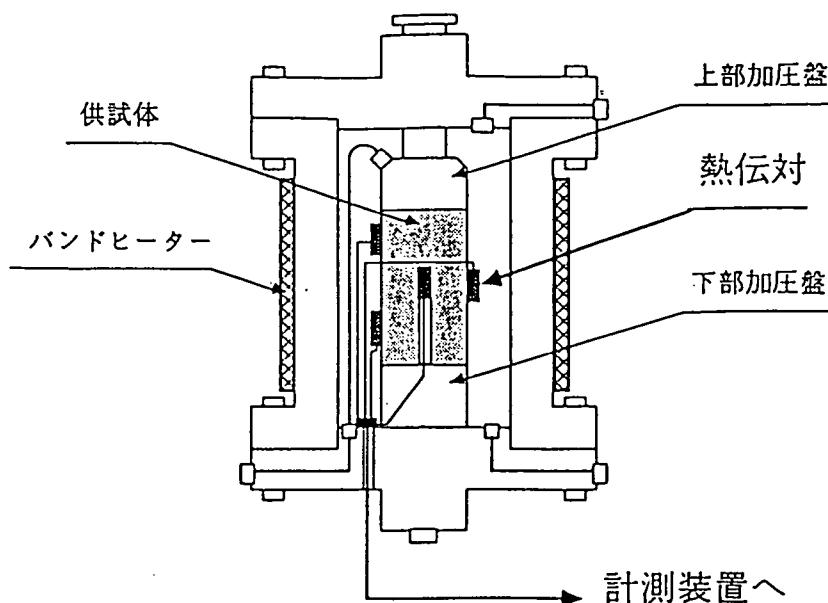


図-12 圧力容器内熱伝対の設置箇所

熱用バンドヒーター等の概略図である。当試験においては、図中に示すように、圧力容器外壁に設置したバンドヒーターにより加熱し、供試体外壁の上、中央、下の3点と供試体内部に熱伝対を設置して各温度を測定する構造とした（実際の透水試験では供試体内部に設置した熱伝対は取り外す）。ここで用いた温度制御装置はPID（比例微積分制御）方式による自動制御装置であるため、各設定温度における最も適切なP値（比例定数）、I値（微分定数）、D値（積分定数）の組合せを実験的に確認し、その試験結果が許容範囲内（設定温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内）でなくてはならない。このため、ここでは50℃から100℃までを10℃単位で6段階に設定した。それぞれの設定温度における試験結果を図-13から図-18に示す。この試験における昇・降温速度は急激な加熱に伴う供試体内でのクラックの発生を防止するため、文献値より $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以下とした<sup>8)</sup>。

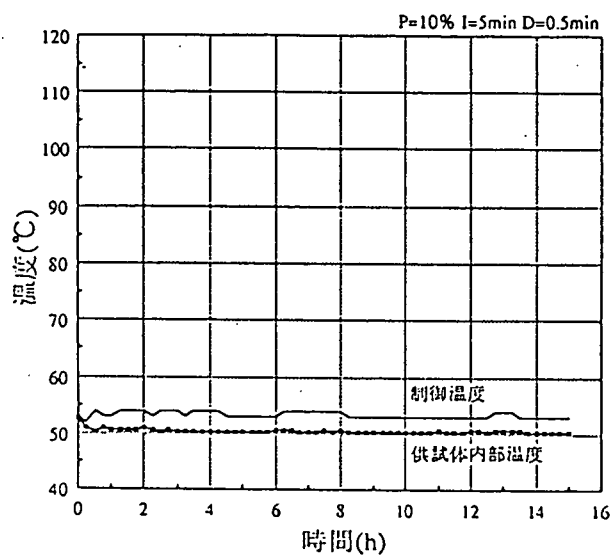


図-13 温度制御性能の確認試験 (50°C設定)

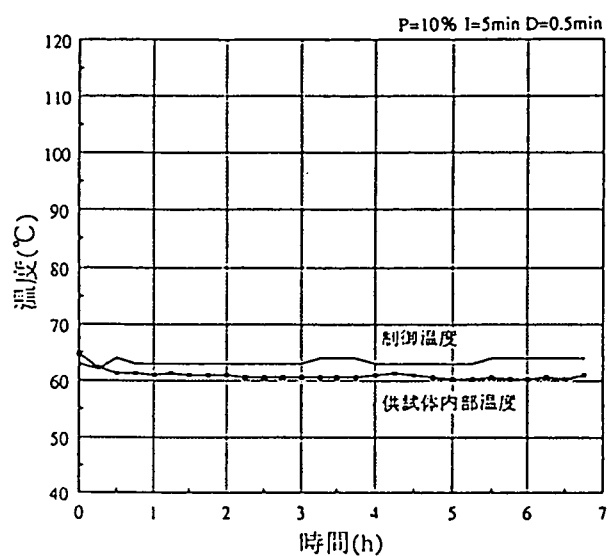


図-14 温度制御性能の確認試験 (60°C設定)

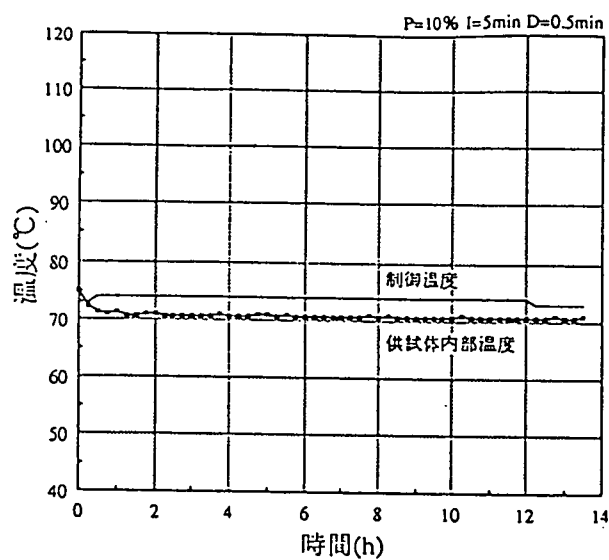


図-15 温度制御性能の確認試験 (70°C設定)

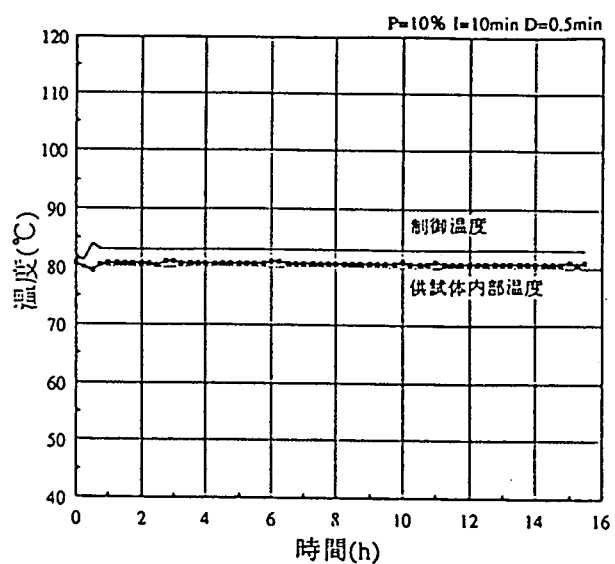


図-16 温度制御性能の確認試験 (80°C設定)

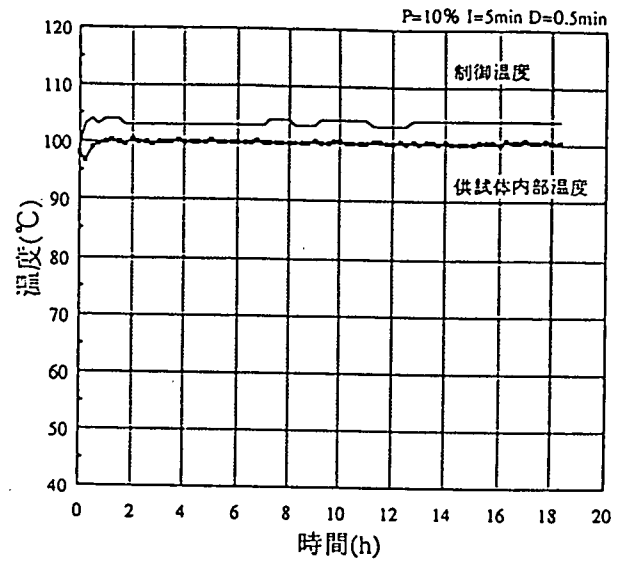
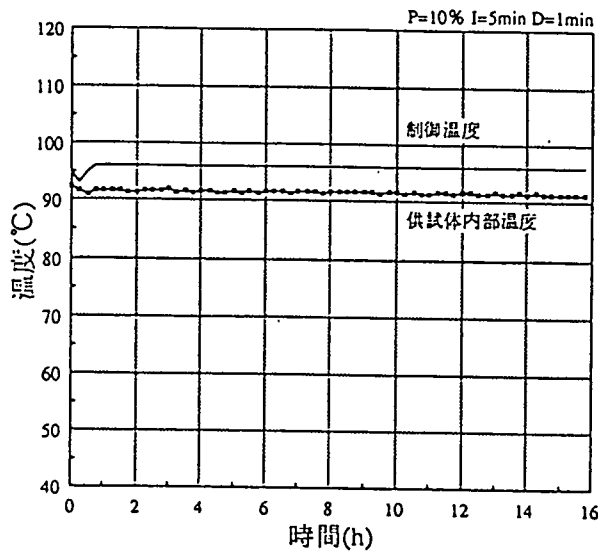


図-17 温度制御性能の確認試験 (90℃設定)

図-18 温度制御性能の確認試験 (100℃設定)

図より明らかな様に、全ての試験結果は $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内で安定に制御されており、当初目標を満たす結果が得られた。また、この試験結果より、供試体内部を設定温度に安定に保つためには、温度制御装置の制御温度を設定温度より $2^\circ\text{C}$ 程高めに設定する必要があることも分かった。

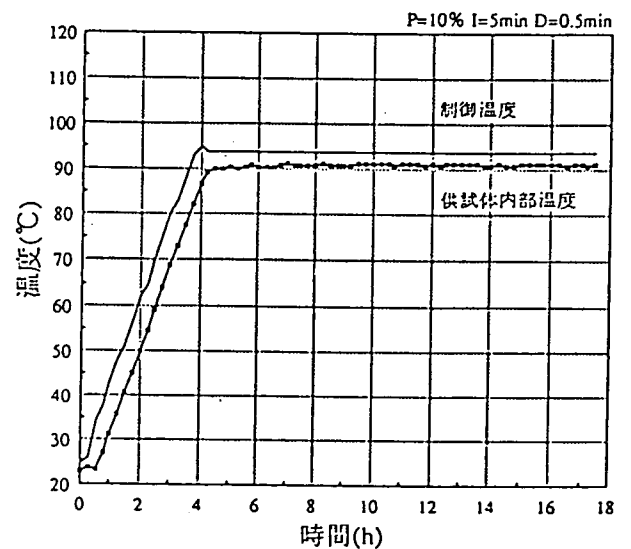
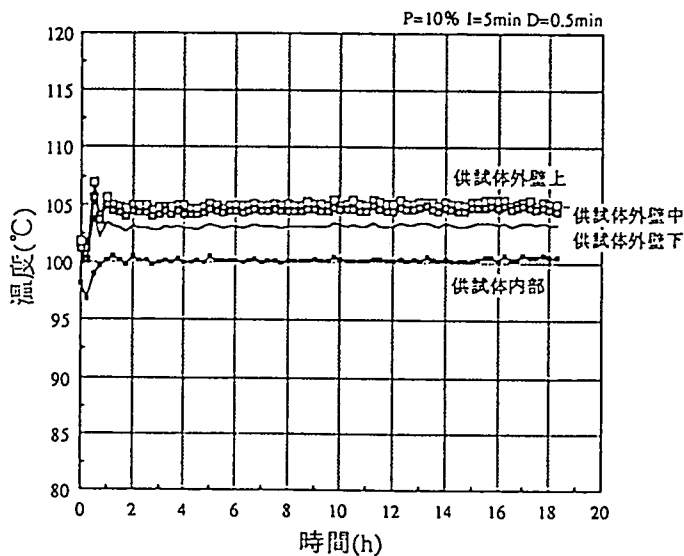


図-19 温度制御性能の確認試験 (100℃設定)

図-20 温度制御性能の確認試験 (昇温～固定)

図-19は100℃設定で供試体内部温度と外壁の温度差の測定を行ったものである。この図より、供試体内部とその外壁上部においては最大4.8℃の温度差が生じていることが分かる。これは供試体両端面に接触している加圧盤からの放熱が最大の原因と考えられるが、圧力容器の構造上、この改善は極めて困難と考えられる。このため、本報においては、特にこの対策についての検討は取り上げていない。

図-20は常温から100℃まで昇温し、供試体内部温度が安定するまで連続記録したものである。この図より供試体内部温度が設定温度に安定するには温度制御装置の制御温度が設定温度に達した後、6時間程度必要であることも分かった（100℃設定の場合）。

## 6. ま と め

### (1) 常温下での室内透水試験

難透水性岩石を対象とした室内透水試験においては、従来法（定水位法）と、トランジェントパルス法（Braceらの方法）の併用が効果的であり、その試験装置の設計および性能の評価においては以下に示す検討が必要であることが分かった。

- ① 定水位法においては、試験時間の長期化に伴い、 $10^{-8}$  cm/secオーダー程度までが現実的な測定限界となる。試験装置の適用に際しては側面流、透過水量の測定精度および室温変化に伴う試験水の体積変化、漏洩、蒸発等についての検討を必要とする。特に室温変化に伴う試験水の体積変化については、空調機の24時間連続運転や、試験室を密閉構造とする等して、その影響を最小限にとどめた。
- ② トランジェントパルス法は本来 $10^{-10}$  cm/secオーダー以下の、難透水性岩石を対象とした方法であるが、測定範囲を $10^{-7}$  cm/secオーダー程度まで拡大する場合には解析モデルに起因する誤差、および貯留槽の容積等について十分な事前検討が必要である。また、この方法は計測系を閉鎖し、供試体両端に設置した貯留槽の圧力の変動を測定することにより透水係数を求めるため、定水位法以上に温度変化による影響が顕著となる。このため、貯留槽の温度制御装置を開発する等し、室温変化に伴う間隙内圧力の変動の及ぼす透水係数の評価への影響を最小限にとどめた。

これまでの検討により開発した試験装置においては、以下に示す測定範囲と測定精度が得られた。

試験方法	定水位法およびトランジェントパルス法（Braceらの方法）
測定範囲	$1.5 \times 10^{-4}$ cm/sec ~ $3.7 \times 10^{-12}$ cm/sec
測定精度	±10%以内

また、実際に三城目安山岩、土岐花崗岩および西南日本外帯結晶片岩をサンプルとして、2つの試験方法の妥当性を確認し、定水位法およびトランジェントパルス法でほぼ等しい値を得た。

### (2) 高温下での室内透水試験

高温透水試験に関しては、圧力容器内の温度制御性能の確認試験を実施した。この試験では50℃から100℃までを10℃単位で6段階に設定し、各設定温度において供試体内部を±1℃以内で制御されていることを確認した。

## 7. 今後の予定

今後は開発した試験装置を用いて特に水理地質構造モデル等の入力および検証のために、より多くのデータを取得する。また、高温透水試験についても、岩石供試体を用いた基礎試験を早急に実施し、開発業務を終了させる計画である。

## 参考文献

- 1) Bernabe, Y. (1986): "The Effective Pressure Law for Permeability in Chelmsford Granite and Barre Granite", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Vol. 23, No. 3, pp. 267-275.
- 2) Brace, W. F. et al. (1968): "Permeability of Granite High Pressure", J. Geophys. Res. Vol. 73, pp. 2225-2236.
- 3) Hsieh, P. A. et al. (1981): "A Transient Laboratory Method for Determining the Hydraulic Properties of 'Tight' Rocks- I. Theory", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18, pp. 245-252.
- 4) Neuzil, C. E. et al. (1981): "A Transient Laboratory Method for determining the Hydraulic Properties of 'Tight' Rocks-II. Application", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18, pp. 253-258.
- 5) 渡辺 邦夫(1983): 岩盤割れ目系の諸地質量を考慮した岩盤浸透流の解析に関する基礎研究、学位論文、pp. 39-106.
- 6) 高橋 学・薛 自求(1989): パルス法を用いて岩石の透水係数を測定する場合の問題点について、「地質ニュース」、421号、pp. 46-54.
- 7) 西垣 誠(1985): 室内透水試験における諸問題、「地下水と井戸ポンプ」、27巻8号、pp. 14-28.
- 8) 斎藤 章・奥野 哲夫(1987): トランジェント・パルス法による高温下透水試験、第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp. 196-200.
- 9) Bernabe, Y. (1987): "Technical note. A Wide Range Permeameter for Use in Rock Physics", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 24, No. 5, pp. 309-315.
- 10) 斎藤 章・奥野 哲夫(1987): 高温下における花崗岩質岩石の透水性に関する研究、第42回年次学術講演会、土木学会、pp. 436-437.
- 11) 青木 智幸・下茂 道人・田中 重明(1987): 岩石の透水性に及ぼす温度と圧力の効果、第42回年次学術講演会、土木学会、pp. 368-369.
- 12) 西垣 誠(1985): 室内透水試験法の改良(その1)、「地下水と井戸ポンプ」、27巻10号、pp. 16-25.
- 13) 西垣 誠、室内透水試験法の改良(その2)、「地下水と井戸ポンプ」、27巻12号、pp. 13-23.
- 14) 佐藤邦明・伊藤洋(1988): 岩盤内浸透流の時間の依存と目詰まり機構、「土と基礎」、36巻4号、pp. 21-25.
- 15) 奥野 哲也・斎藤 章(1986): 透水性の低い岩石の室内透水試験方法、第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp. 381-385.

4. 金属鉱山等保安規則  
改正にともなう事項

## S F<sub>6</sub> トレーサー拡散実験

### 1. 要 旨

東濃鉱山周辺におけるRn（ラドン）ガスの拡散状況を調べるため、現地でS F<sub>6</sub>（六弗化硫黄）ガストレーサーを利用して拡散実験を実施した。実験は、種々の気象条件で計5回行なった。

S F<sub>6</sub>は、地下坑道の主扇裏側から生ガスのまま注入し、通気立坑内で大気と均一に混合させてから地上に放出した。

拡散実験前には発煙筒を使い現地の風を複数回目視で確認した。この結果、現地では風速が弱くても水平方向や垂直方向の風向変動が大きいため強く希釈されていることがわかった。

拡散大気の採取地点は、現地の風向・風速の変動が大きいか、放出口も地表に近く複雑な地形の影響を受けやすいので全方位を立体的に配置した。

大気中に拡散したS F<sub>6</sub>は手動ゴム球や本実験用に製作したエアーサンプラーを用いてテドラーバックに採取した後、ガスタイトシリンジで分取しECD付ガスクロマトグラフで測定した。

この実験の結果、大気の採取方法や分析方法、測点の配置について反省点がいくつか明らかになったが、東濃鉱山周辺の大気は山風や谷風により強く拡散され通気立坑口から約50m離れるだけでほぼ1/1000以下に希釈されていることがわかった。

しかし、風の変動が複雑で全体的な拡散を評価するには至らなかった。

### 2. 実験の目的

東濃鉱山は、ウラン鉱床から娘核種のRnガスが湧出している。

平成元年度からIAEA勧告の国内法取り込みにより放射性同位元素等障害防止法や金属鉱山等保安規則などが改正され、Rn放出濃度規制が厳しくなった。

これに伴い、坑道内と東濃鉱山周辺の極低レベルRn濃度を測定する必要性が生じたが、バックグラウンドレベルのRnを測定することは非常に難しく種々の手法が混在しているのが現状である。また、親核種のUも天然界に広く存在するためBGレベルが不明で、坑内から湧出してきたRn濃度だけを分離して検出することは不可能である。

一方、Rnは大気と同じ挙動をされると考えられているので、ガストレーサーをRnと同様に坑道内から放出すれば現地での風による拡散状況を知ることができる。

そこで、ガス密度がほぼ同じ、検出の容易なS F<sub>6</sub>ガストレーサーを用いて鉱山周辺でRnがどの程度希釈されているかを確認するために現地で拡散実験を行なった。

### 3. 実験の方法

#### 1. 対象地区

岐阜県土岐市泉町河合字賤洞1221-8 東濃鉱山周辺

東濃鉱山は濃尾平野と中部山岳地帯の境界付近に位置するため、夏は盆地特有の暑



さと多雨、冬は厳しい寒さの内陸性気候と太平洋型気候の二面性をもっている。

周囲は雑木林に囲まれ、低山ながら沢が発達しているため起伏に富んでいる。主たる尾根は南北方向に走り、東西に派生した尾根をもつ。

図-1にSF<sub>0</sub>拡散実験時の測定地点を示す。地図に示す測点は■a~lが第1回拡散実験時のものであり●1~18が第2回目以降のものである。各測点は巻尺とクリノメーターを用いて測量し地図上に落とした。このため高度と距離は±2~5mの誤差と、測点間の角度については±5~10°の誤差を含んでいる。

SF<sub>0</sub>の放出はすべて排気側から行ない、H1.9/1に主扇を逆転させる前の第1回目だけは測点Bから放出され、第2回目以降は測点1から放出された。

現在の排気は、東側の通気立坑口(測点1)から行なわれており、西側の坑口(測点B)は吸気側である。第2回目以降の実験では、測点3~16の同一地点に地上1.5mの低測点と樹木上に設置した高測点の2箇所で大気を採取した。

気象観測は測点5の気象観測塔上部18mに設置された微風速計と、測点Bの坑口やぐら上13mに設置された風速計により行ない、その他、気象指針に指定された観測項目を鉾山内で自動記録している。

## 2. 拡散実験実施状況

今回の実験では以下のような作業を行なった。それぞれの作業に要した人数は以下のとおりである。

H1.5/1 SF<sub>0</sub>バックグラウンド測定：12地点(1人)

H1.5/29 発煙筒観察および大気採取地点決定：坑口側(7人)

H1.6/12 第1回SF<sub>0</sub>拡散実験：坑口側13測点(13人)

拡散大気の捕集〔11:00~11:33〕 SF<sub>0</sub>の放出〔11:15~11:19〕

H1.9/27 通気立坑側発煙筒ビデオ撮影(2人)

H1.10/5 同上発煙筒ビデオ撮影および大気採取地点決定(6人)

H1.10/17 第2回SF<sub>0</sub>拡散実験：通気立坑側10箇所18測点(8人)

拡散大気の捕集〔14:30~15:00〕 SF<sub>0</sub>の放出〔14:20~15:10〕

H1.12/20 第3回SF<sub>0</sub>拡散実験：通気立坑側17箇所34測点(5人)

拡散大気の捕集〔14:00~14:25〕 SF<sub>0</sub>の放出〔13:50~14:35〕

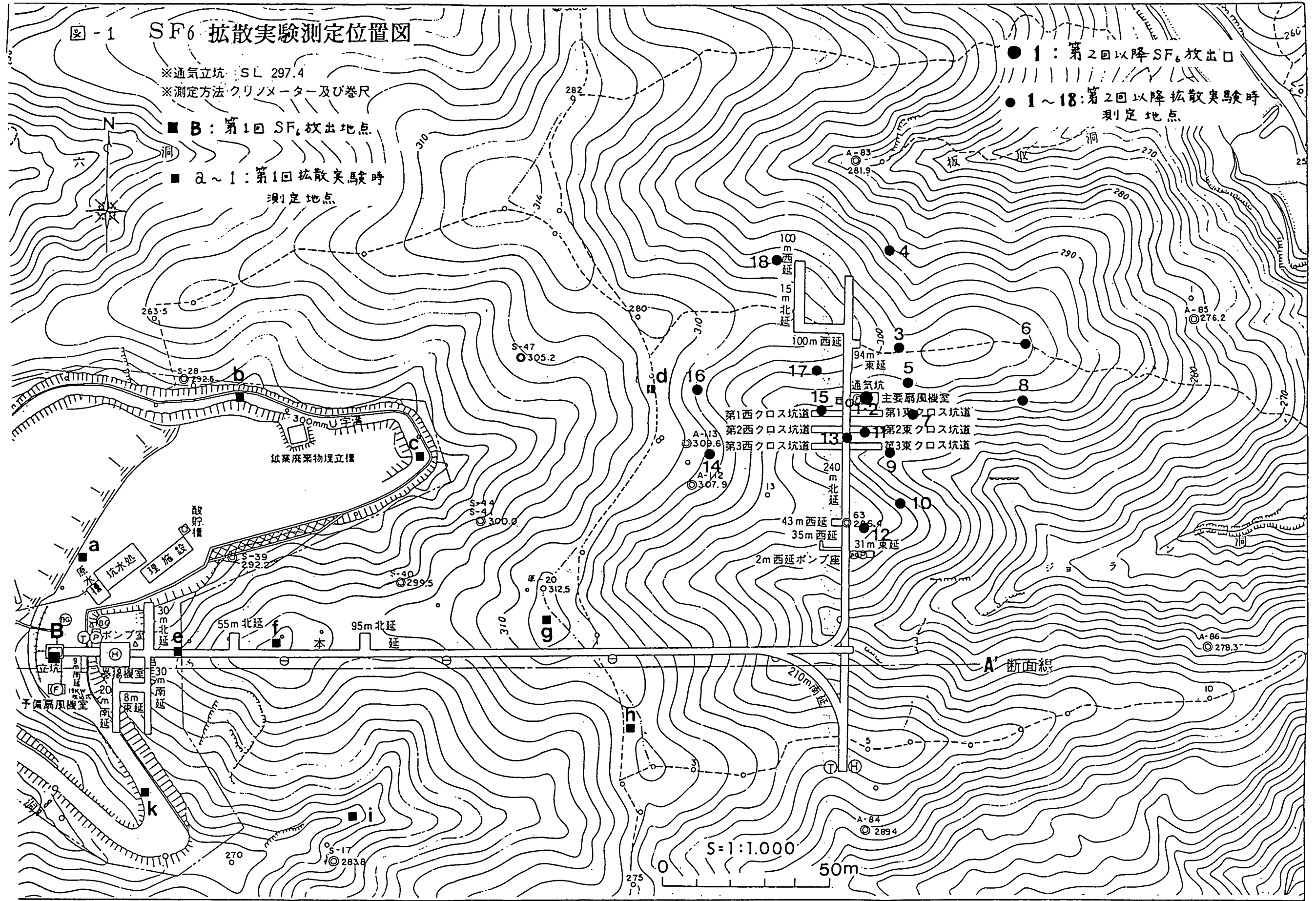
H2.1/12 第4-1回拡散実験：通気立坑側17箇所34測点(3人)

拡散大気の捕集〔9:40~10:05〕 SF<sub>0</sub>の放出〔9:30~10:15〕

H2.1/12 第4-2回拡散実験：同上(5人)

拡散大気の捕集〔14:45~15:10〕 SF<sub>0</sub>の放出〔14:35~15:20〕

上記のほか、SF<sub>0</sub>を分析するためのガスクロマトグラフ条件の設定やガスクロ部品の自作、サンプリングチューブの製作、サンプラーの設置、大気を回収したテトラバック中のSF<sub>0</sub>の除去方法の検討などの数多くの補助的作業を実施した。



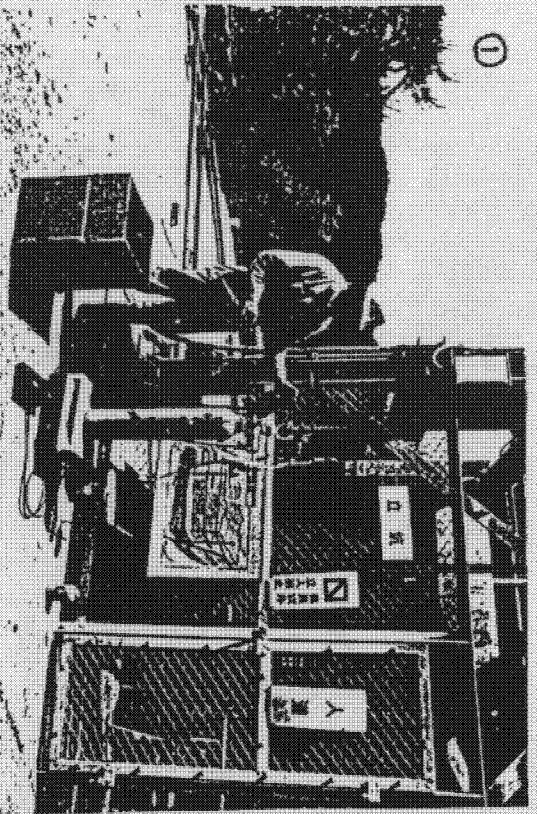


写真-1 SF<sub>6</sub>の放出全量および測点Bでのサンプリング  
(第1回拡散実験)

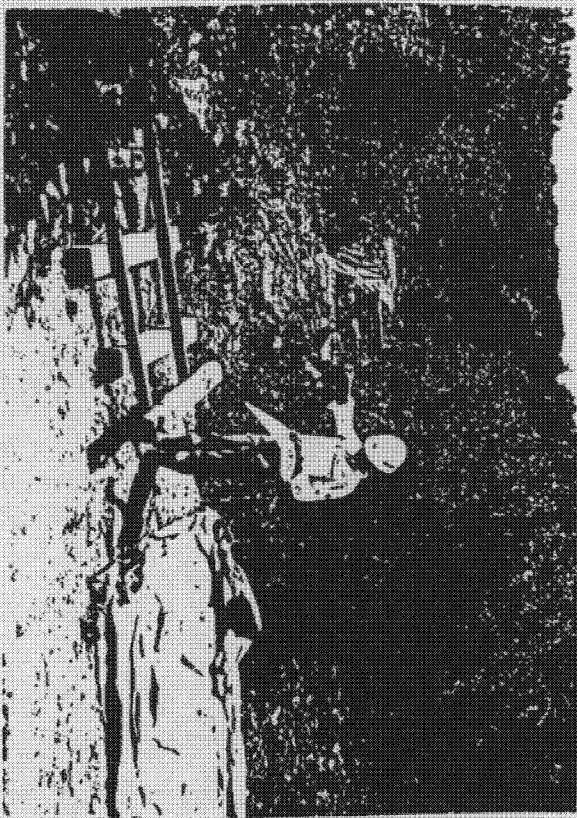


写真-3 各測定点の大气採取方法 (測点a)

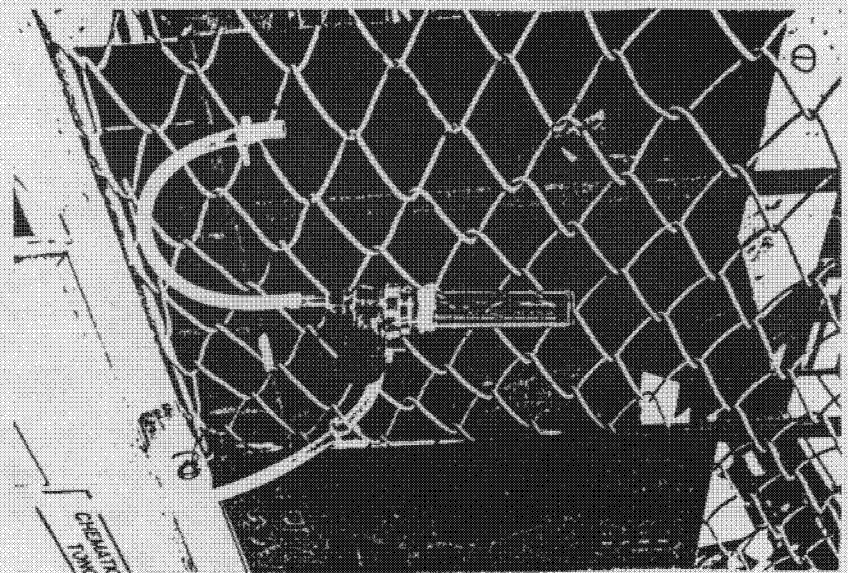
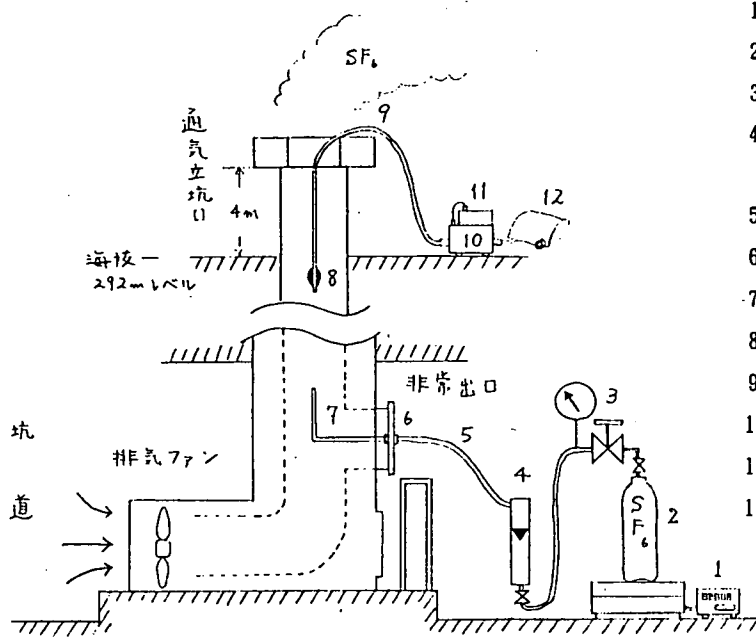
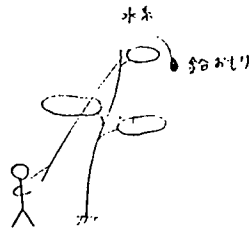


写真-2 SF<sub>6</sub>の放出部 (拡大)

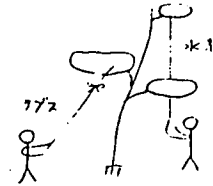


1. 電子上皿天秤 (max. 80kg, 1g単位)
2. SF<sub>6</sub>ポンベ (≥99.9%, 10kg)
3. 液化ガス用ヒーター付減圧弁 (200W)
4. SF<sub>6</sub>用精密バルブ付流量計 (1~10ℓ/min)
5. ポリエチレンチューブ (OD4φ × ID3φ mm)
6. SUSフェイスマウントユニオンコネクター
7. SUSパイプ (OD5φ × ID3φ × 2.5m)
8. 通しおもり (25号)
9. ポリエチレンパイプ (OD2φ × ID1φ × 15m)
10. DCダイナモポンプ (3.0ℓ/min)
11. DCデジタルタイマー (24時間, ON/OFF)
12. 5ℓテトラパック (M6コネクター, コック付スリーブ付)

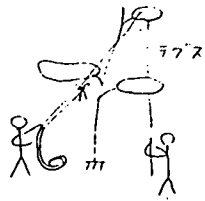
図-2 SF<sub>6</sub>ガス放出概念図 (第2回拡散実験以降)



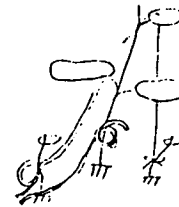
1) 水系に鉛おもりを付けて設置点の樹木に投げ上げる。



2) 水系の後にテグス (4号) を結びつけてから鉛おもりと水系を回収する。



3) テグスの後に給気抵抗用のPEチューブ15mを継げてPEチューブを樹上の最高点まで引き上げる。



4) 周辺の低木にテグスとPEチューブを固定し、地上高を記入してから同じ樹木の1.5mに低測定サンプラーを設置する。

図-3 大気採取用サンプラーの設置方法

①

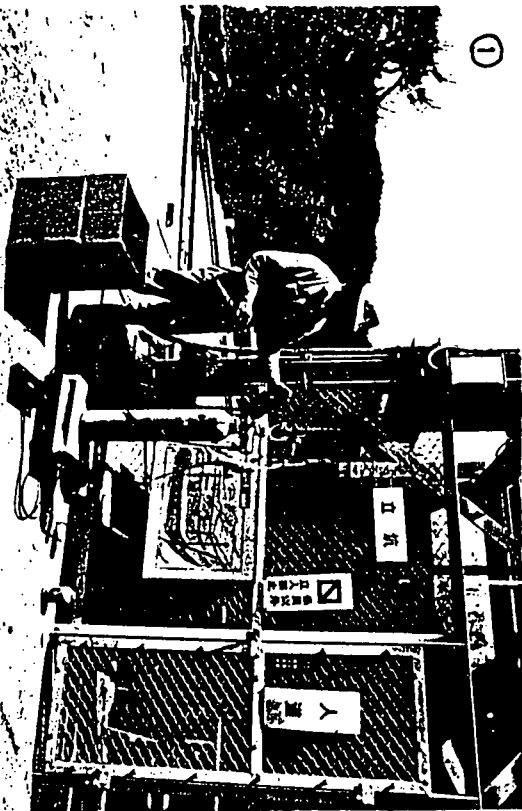


写真-1 SF<sub>6</sub>の放出全景および測点Bでのサンプリング  
(第1回拡散実験)



写真-3 各測定点の大气採取方法 (測点a)

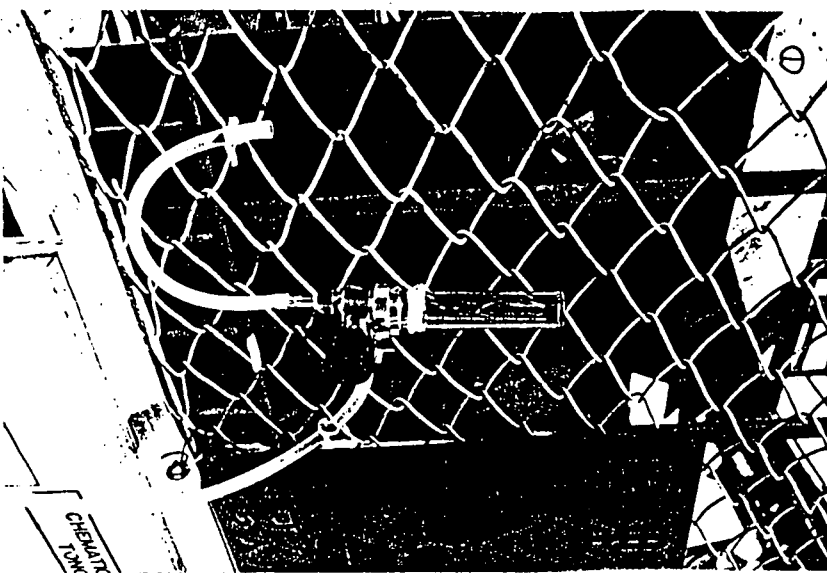


写真-2 SF<sub>6</sub>の放出部 (拡大)

### 3. 拡散実験実施方法

#### a. 第1回拡散実験 (H 1. 6 / 12)

S F<sub>6</sub>ガスは、写真-1、2の様に坑口横地上1.2mからシリコンチューブで配管し、ヒーター付減圧弁を用いて生ガス(S F<sub>6</sub> 99.9%)を直接放出した。

S F<sub>6</sub>は、A rガス流量計を使い11:05~11:19まで一定流量になるよう放出し、電子天秤により秤量したポンベの重量変化から放出量および流量を求めた。

捕集は写真-3に示すとおり各測定点に人が立ちスプレーゴム球とテドラーバックで人力により行なった。各人は、地上1.2mの高さで坑口側にゴム球を向け、11:00から11:30まで5分毎に大気を採取した。

大気の採取は5ℓテドラーバックが約2~3分で満杯になるようにゆっくり行ない、事前に時計合わせと練習をして誤差を少なくした。

大気の採取地点は、5/29に行なった発煙筒の観察結果より5測線13点を選び、坑口より距離約25、50、100、200mの地点を東側へ35°ずつ扇状に135°展開した。(図-1参照)

これは他の拡散実験を参考にして、予想される風向の風下に採取地点を扇状に配置し、参加人数に割り振り選定したものである。

#### b. 第2~4-2回拡散実験

S F<sub>6</sub>ガス放出概念図を図-2に示す。

S F<sub>6</sub>はR nと同様に拡散させるため通気立坑非常口から注入し、立坑内で大気と均一に混合させてから地上に放出した。立坑内へは、ポンベと液化C O<sub>2</sub>用ヒーター付減圧弁から直後、S U S継手、ポリウレタンチューブ、S U Sパイプを使って配管し、生ガス(S F<sub>6</sub> 99.9%)のまま注入した。(写真-4、5参照)

S F<sub>6</sub>は専用ガス流量計で一定流量になるようにニードルバルブで調整しながら、拡散大気の捕集開始10分前から捕集終了の10分後まで連続して行なった。

S F<sub>6</sub>放出強度は、1gまで読みとれる電子上皿天秤によりポンベの重量変化を秤量して、減少したg数より計算してガス流量(ℓ/min)を求めた。(20℃、1 atm = 6.162S F<sub>6</sub>g/ℓ)

S F<sub>6</sub>拡散大気は、本実験用に製作したデジタルタイマーやエアーポンプなどを用いて5ℓテドラーバックに捕集した。(写真-6、図-6参照)

捕集は高い測点を設けるためと採取時間を長くするため、抵抗体として内径1mm φ15mポリエチレンチューブを用いポンプ流量を約1/12に削減して25分間行なった。(200ml/min\*25min = 5ℓ)

大気の採取はサンプラーを図-3、4に示すように設置し、地上1.5mの低測点と樹木上に高測点を設けた。高測点のポリエチレンチューブには、図-5のように2.5mずつビニールテープで目印を付けて地上からの高さが観測できるようにした。

これは9/27や10/5などの発煙筒による風の確認結果から、風速が0.9m/sと少なくとも風が巻くため排気口近くに煙が落ちてくることや、30分間で風向が180°逆転したことから、排気口を中心として立体的に測点を設けたものである。



(写真-7、8参照)

Hollandの計算式によると近距離にある周囲の高測点は、風速1.9~2.5m/sで吹上高さとも一致する。

高測点を設けた理由は、大気中での拡散は距離の逆2乗に比例すること、風向成分が異なる場合の初期拡散は非常に大きいこと、山間部では平地の3~5倍の拡散幅があること、などから15m程度の距離でも1/20以上に希釈されていると予想されたので、排気口からのSF<sub>6</sub>が直接採取できればどこに落ちるかわからない着地点を探すよりも効率的だと考えたためである。

第2回拡散実験では、東海事業所から借用したタイマーやポンプだけを用いたので6、9、10、13、14、17、18の各点を除く18箇所で大気をサンプリングしている。

第3回以降の実験では、8方位に2距離ずつ各高測点と低測点を設置し、測点1、2、3、3'~18'までの34箇所で大気のサンプリングを実施した。

放出したSF<sub>6</sub>の初期濃度は測点1の通気立坑内から採取した大気を分析することにより求めた。第2回では通気立坑口面の-1m下部から採取し、第3回では放出口にRn測定器を設置していたので-5mまで下げて初期濃度を求めた。しかし、第3回では-5mまで下げて外気の巻き込みが生じたので、第4回は-10mまで下げて外気による希釈がない様に採取した。

各測点では採取前に窒素ガスでチューブ内の凝縮水やごみを除去してからポンプを接続した。

大気採取後は、テドラーバックの外観により大気採取量を記録するとともに、採取量が1ℓ未満の測点はポンプやサンプラーの異常が考えられるのでポンプ不良として分析結果から除いた。

#### c. トレーサーガスの分析

SF<sub>6</sub>の分析は、ECD付ガスクロマトグラフを用いて行なった。

このガスクロマトグラフは、大気中のSF<sub>6</sub>を直接10分以内に分析することができ定量下限は0.01ppbである。

クロマトグラムは保持時間により分析成分の同定を行ない、インテグレーターで面積を求めて絶対検量線法により定量した。

ガスクロマトグラフの分析条件は以下の通りである。

項目	内容	備考
ガスクロマトグラフ	model : GC-14APTE	島津製作所製
カラム充填剤	Porapak-Q	80~100mesh
カラムサイズ	OD4 φ×4ID3 φ×2m	SUS316パイプ
キャリアガス	純ガスBN <sub>2</sub>	99.9995%以上
キャリア圧力	1.1kg/cm <sup>2</sup>	30.5ml/min
スキャベンジャ圧力	5kg/cm <sup>2</sup>	1.5ml/min
ガスクロ温度-1	カラム恒温槽	90℃
ガスクロ温度-2	インジェクション	130℃

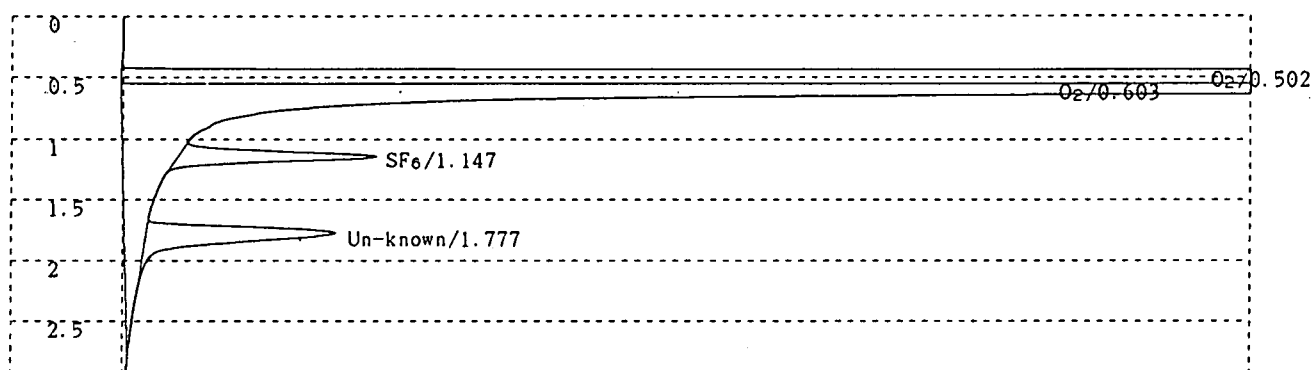
ガスクロ温度 - 3                      ディテクタ (検出器)                      340°C  
 ECDセル電流                              2 nA    Current\*1  
 ECDセルレンジ                              10<sup>1</sup>    Renge

5 ℓ テドラーバックに捕集された SF<sub>6</sub>。拡散大気は、濃度の薄いものは 1 ml ガスタイトシリンジで直接分取して定量した。

SF<sub>6</sub> 濃度が濃いものは、一度 1000 ml のガス希釈容器を使って ppb オーダーに希釈してから同様に分析した。希釈および採取量を以下に示す。

SF <sub>6</sub> 濃度	分取比	採取量
X > 10 ppm	1 / 1000	0.2 ~ 1 ml
10 > X > 1 ppm	直接	50 μ l
X > 1 ppm	直接	1 ~ 0.5 ml

以下にクロマトグラムの一例を示す。



CHROMATOPAC C-R4A    CH=1    REPORT No.=3    クロマト=2:890615.C18    89/06/15 11:16:46

\*\* 定量計算結果 \*\*

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	0.502	5983517	1260171	E	1	70.0759	O <sub>2</sub>
	2	0.603	4796846	1260968	SVE	1	56.1782	O <sub>2</sub>
	3	1.147	7670	1405	T	3	0.0386	SF <sub>6</sub>
	4	1.777	10974	1337	T	4	6782.2001	Un-known
TOTAL			10799006	2523881			6908.4926	

拡散大気中の SF<sub>6</sub>。分析例 (大気 1 ml)



#### 4. 実験結果

##### 1. 拡散実験時の気象概況

###### a. 第1回SF。拡散実験（H1.6/12〔11:00~11:33〕）

前日までの雨も上がり、午前中は快晴、午後から少し雲がでてきた。坑口周辺の風はほぼW（西）から吹いていたが、ときには風向計が一回転することもあった。また、測点iやℓでは風が逆のEやSE方向から吹くなど安定していなかった。風速計による記録は $1.8 \pm 0.6 \text{ m/s}$ とほぼ一定しているが、現地では風が吹いたり止ったりして不安定であった。パスキル安定度、風向変動のいずれも強い不安定状態を示した。

###### b. 第2回SF。拡散実験（H1.10/17〔14:30~15:00〕）

前日からの曇り空が晴れ、冬型気圧配置の影響でNWから強い季節風が吹いていた。パスキル安定度では中立であったが、風向変動は $27^\circ$ と不安定状態であった。しかし、現地としては変動幅が夜間並みに小さく、かなり一定していた。

###### c. 第3回SF。拡散実験（H1.12/20〔14:00~14:25〕）

前日には強かった冬型も少しずつ緩み、気温も午後から上昇してきた。午前中に強かった季節風も午後には弱まり実験中ほぼ一定してN方向から吹いていた。

当日は、午前中にも実験を行なう予定であったが、寒さのためタイマーが動かず実験を中止した。パスキル安定度では中立~不安定を示したが、風向変動は、 $38^\circ$ で強い不安定状態であった。

###### d. 第4-1回拡散実験（H2.1/12〔9:40~10:05〕）

当日は、前日からの曇り空のため早朝の気温が高く、珍しく氷点下を割らなかった。通気立坑周辺の地上近くではほとんど風が感じられず、風速計もかなり不安定にNNEからENEの間を動いていた。パスキル安定度では中立を示していたが、風向変動は $51^\circ$ で強い不安定状態であった。

###### e. 第4-2回拡散実験（H2.1/12〔14:45~15:10〕）

午後からは雲も薄くなったが気温はほとんど上がらず、当日は夕方に最低気温を示す現地でも珍しい天候であった。風も少しは生じたが相対的に弱く、風向は一定せずに巻いていた。パスキル安定度では中立を示していたが、風向変動は、 $233^\circ$ で強い不安定状態であった。

拡散実験時前後の気象観測結果について表-1に示す。

拡散実験時の風向・風速の変動状況を図-7~10にまとめた。

また、現地の風速と通気立坑の風量を使ってHollandの式から計算された実験時の予想される吹上高さを表-2にまとめた。第4回拡散実験での吹上高さは、観測した風車型風速計が無風時でも感度の良い微風測計では $0.5 \text{ m/s}$ 以上の風を記録

することが多いほか、上空ほど風が強いので実際には高くても50m程度と考えられる。

通気立坑の風量は、アネモメーターによる立坑吹出し速度（風速）をもとに計算した。通気立坑風量計算値はSF。放出流量と立坑からの初期濃度から逆算した。

各拡散実験時の天気図（気象庁監修「気象」より抜粋）を、図-11に示し、気象観測因子別の大気安定度条件を表-3にまとめた。

表-1 拡散実験前後の気象観測

実験No	実験日	大気採取時間 SF <sub>6</sub> 放出時間	天候	気象観測 時間	通立側 風向	風速 [m/sec]	大気 安定度	気温 [°C]	海面気圧 [mbar]	備考	坑口側 風向*	風速 [m/sec]
1	1989年 6/12(月)	11:00~11:30 11:15~11:19	晴れ時々 曇り	11:00 12:00	(W) (WSW)	(2.2) (2.8)	A B	21.6 22.8	1014.6 1013.8	坑口側 より実験	WNW SW	1.8 2.2
2	1989年 10/17(月)	14:30~15:00 14:20~15:10	曇り後 晴れ	14:00 15:00	NW NW	4.2 3.7	C C	14.2 13.7	1010.7 1009.8	通気立坑 側より	(NW) (WNW)	(3.7) (5.2)
3	1989年 12/20(水)	14:00~14:25 13:50~14:35	晴れ	14:00 15:00	N NW	3.6 1.5	C B	8.3 8.4	1021.4 1021.5	拡散実験	(NW) (WNW)	(2.2) (2.3)
4-1	1990年 1/12(金)	9:40~10:05 9:30~10:15	曇り	9:00 10:00	ESE NNE	0.5 0.8	D D	4.2 5.3	1022.6 1021.6		(E) (ENE)	(1) (1.1)
4-2	1990年 1/12(金)	14:45~15:10 14:35~15:20	曇り	14:00 15:00	S E	1.4 0.4	B D	10.8 10.5	1016.5 1015.8		(WSW) (WNW)	(1.1) (0.9)

\* : 坑口側風向および風速

表-2 拡散実験時の吹上高さ

実験No	拡散実験日	大気採取時間 SF <sub>6</sub> 放出時間	SF <sub>6</sub> 放出量 (g/min)	通気立坑風量 計算値(m <sup>3</sup> /min)	風速 (m/min)	吹上高さ(m) (変動幅)	SF <sub>6</sub> 初期 濃度(ppm)	初期濃度 計算値(ppm)
2	1989年 10/17(火)	14:30~15:00 14:20~15:10	7.19 [44.3g/min]	346	3.7±5.8 -3.2	6.6 (2.6~50)	20.8	20.8
3	1989年 12/20(水)	14:20~14:25 13:50~14:35	8.21 [50.6g/min]	450	3.6±4.4 -3.1	6.8 (3.0~50)	17.3	23.8
4-1	1990年 1/12(金)	9:40~10:05 9:30~10:15	3.55 [21.9g/min]	624*	0.8±1.7 -0.3	30.4 (9.7~50)	5.69	10.3
4-2	1990年 1/12(金)	14:45~15:10 14:35~15:20	3.65 [22.5g/min]	613*	0.4±1.6 -0.1	60.8 (12.2~81)	5.94	10.6

通気立坑風量計算値はSF<sub>6</sub>初期濃度と  
SF<sub>6</sub>放出量、立坑風量から計算した

Holland の式:  $\Delta H = 3 \times W \times D / U$

$V = W \times S \times 60$

$V = \text{通気立坑風量}(m^3/min)$

$W = \text{吹出し速度}(m/s)$

$0.636m^2 = S = \text{排気筒出口面積}(m^2)$

$60 = \text{分}/\text{秒}$

$Cs = L \times 1000/V$

$Cs = \text{初期濃度計算値}(ppm)$

$1000 = m^3/l$

$L = SF_6 \text{ 放出量}$

: 通気立坑口上面にRn測定器が設置されため排気が逆流し希釈された  
\*: 採取用チューブ内が結露したためポンプ負荷が大きくなり過ぎ周辺の大気を直接吸引し希釈された

図-7 第1回 拡散実験時の風向、風速の変動状況

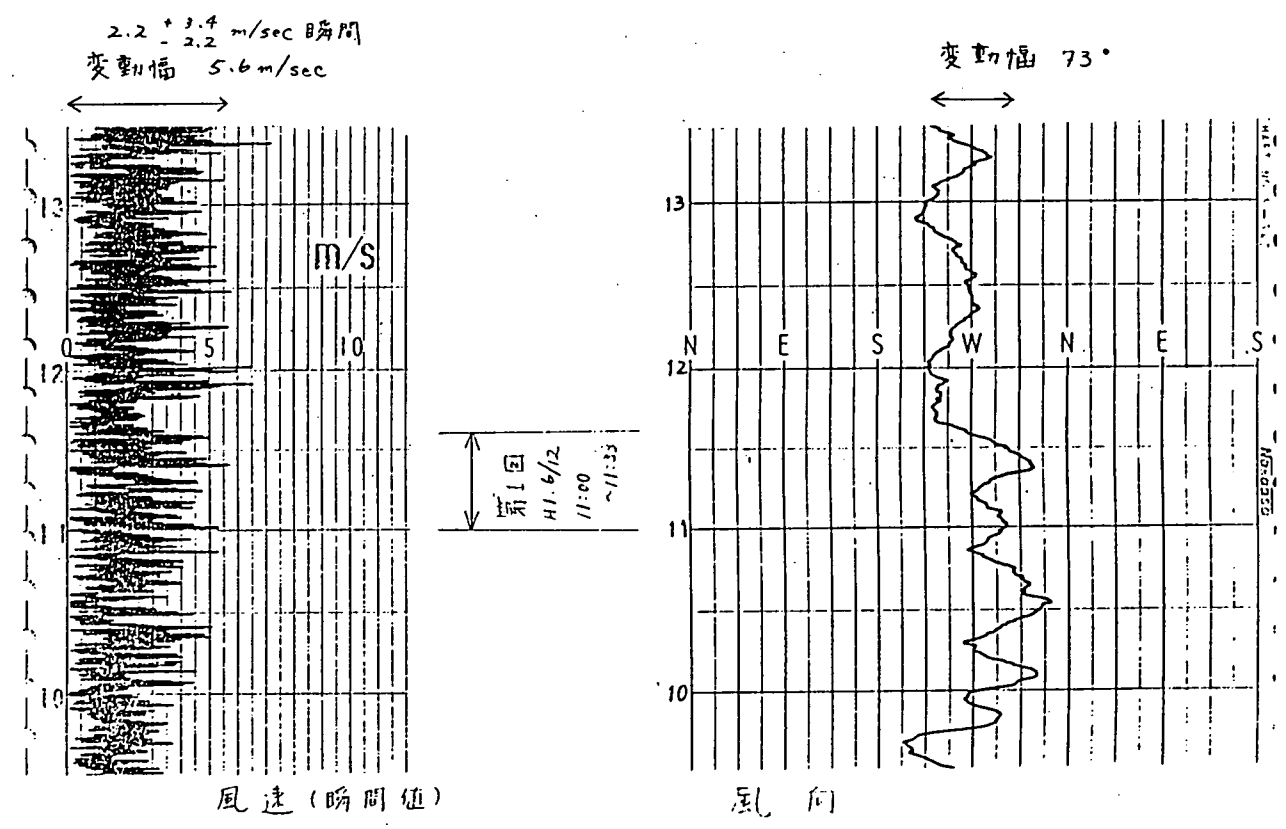
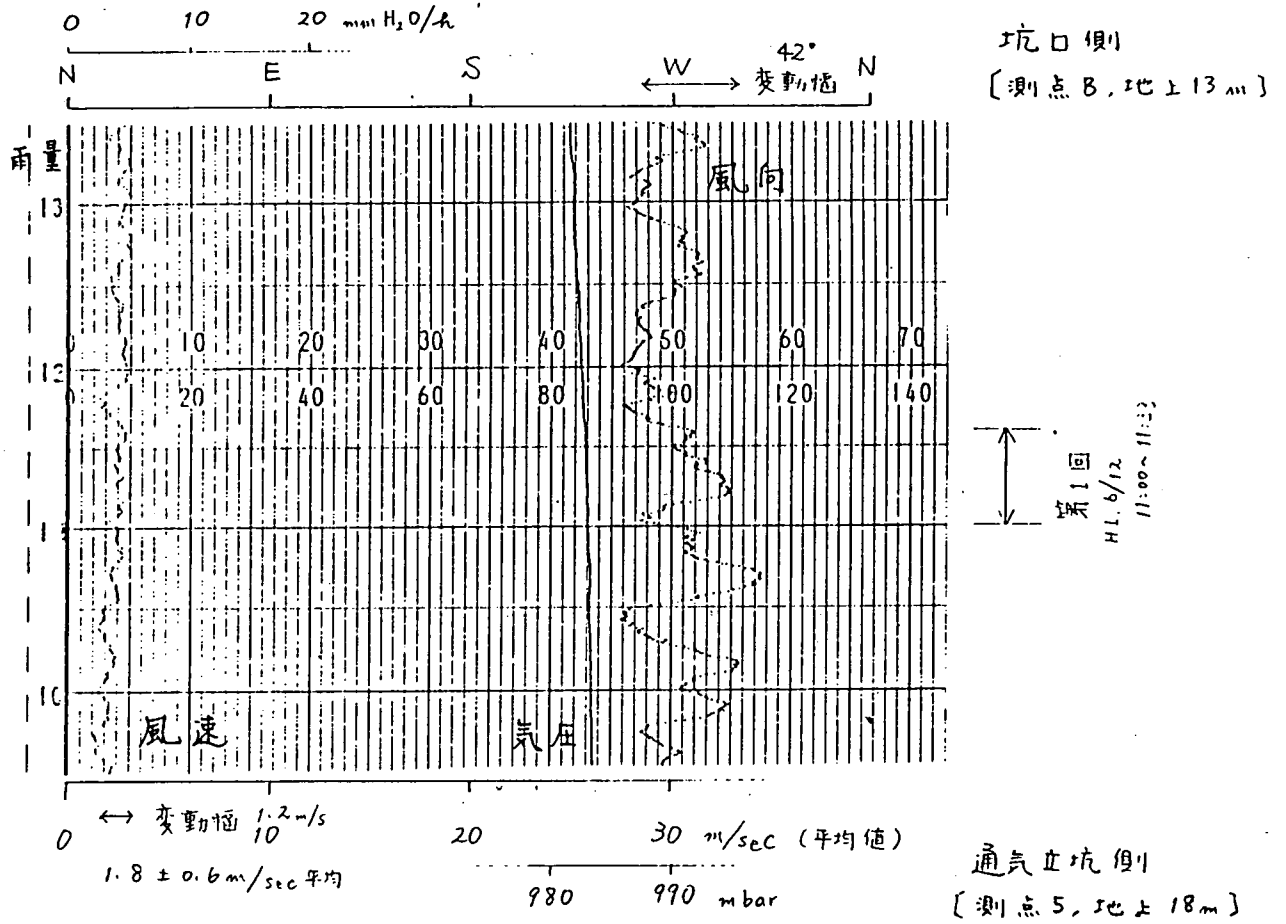


図-8 第2回拡散実験時の風向・風速の変動状況

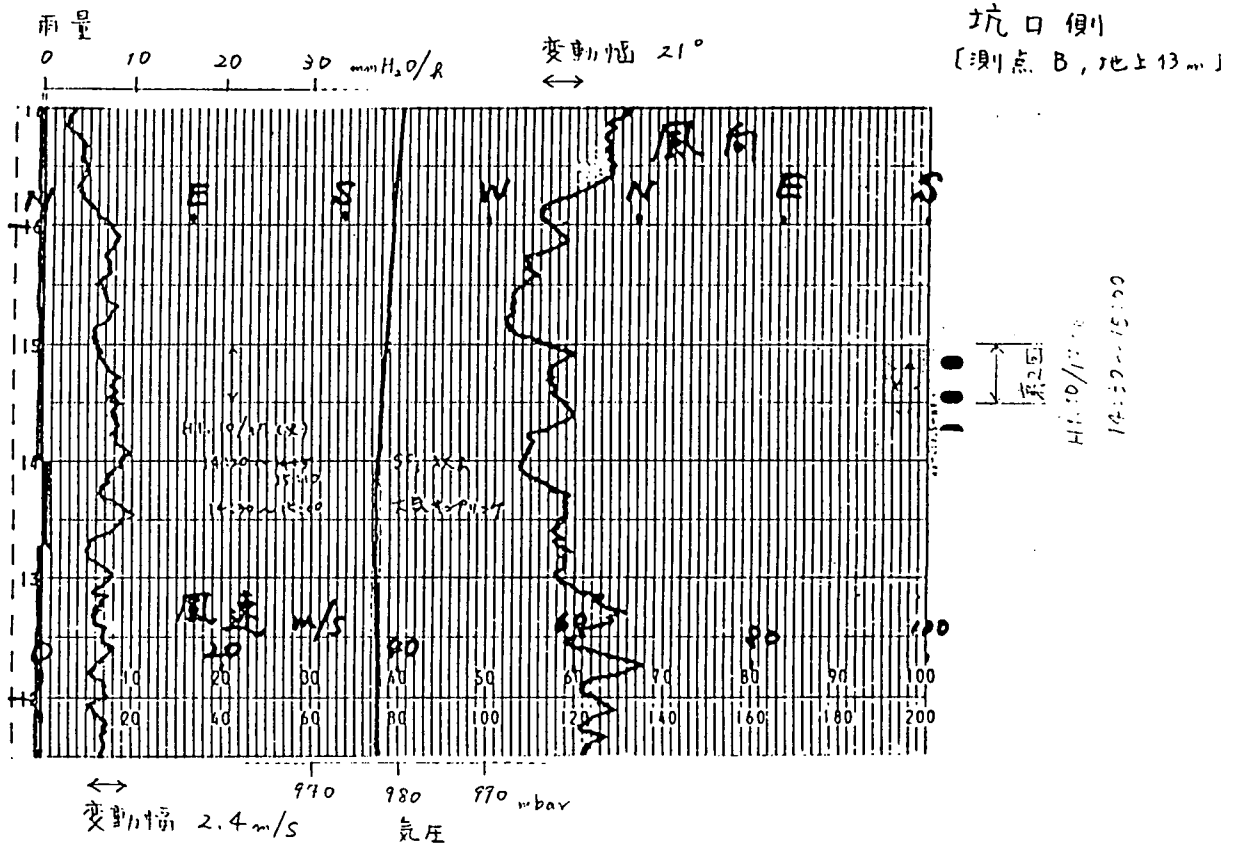
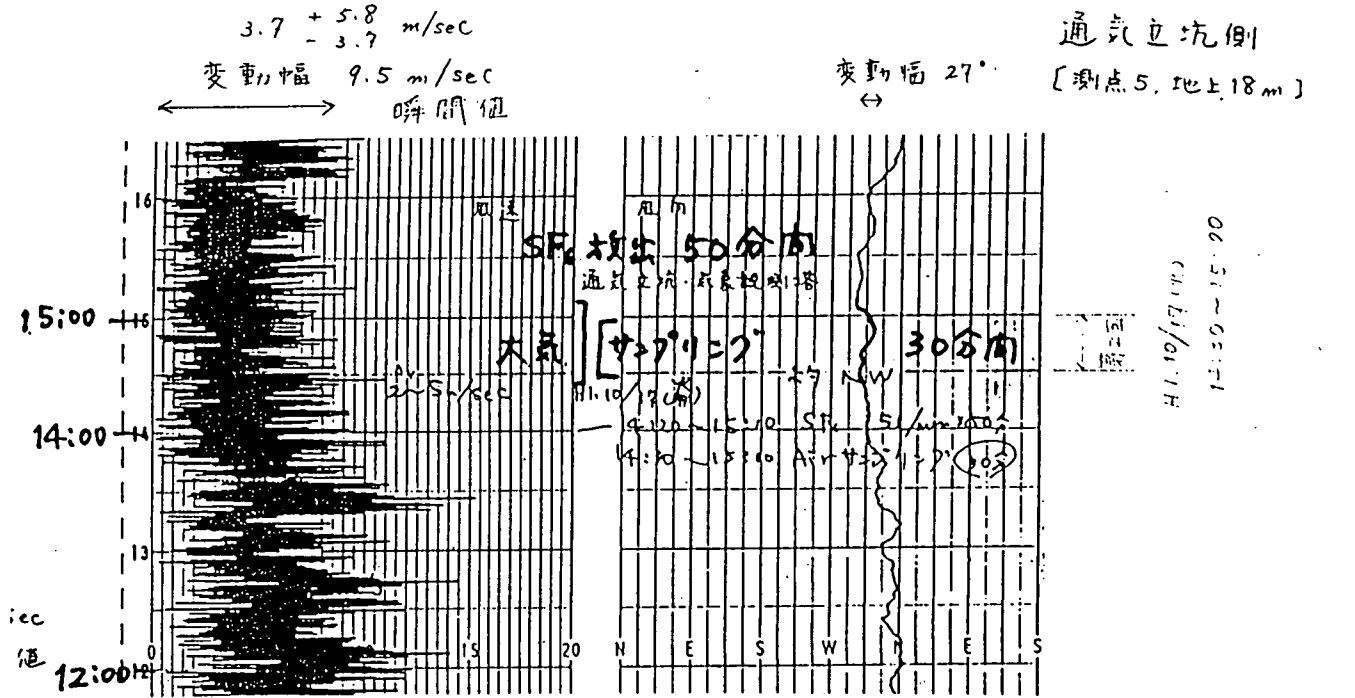
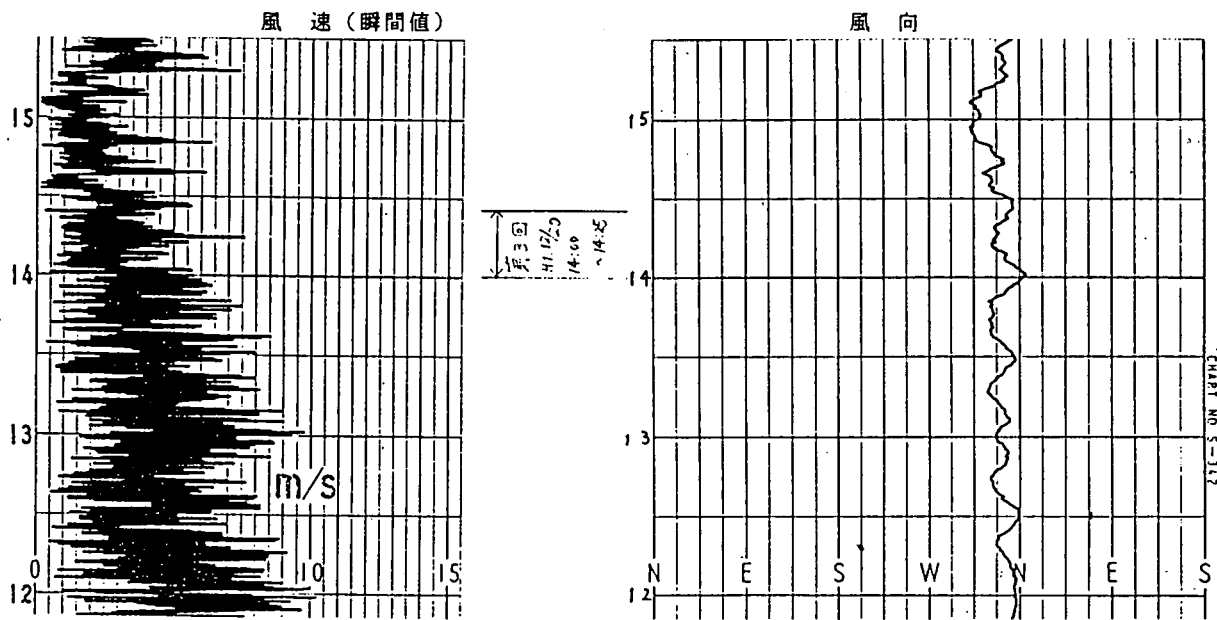


図-9 第3回拡散実験時の風向・風速変動状況

通気立坑側

[測点5、地上18m]

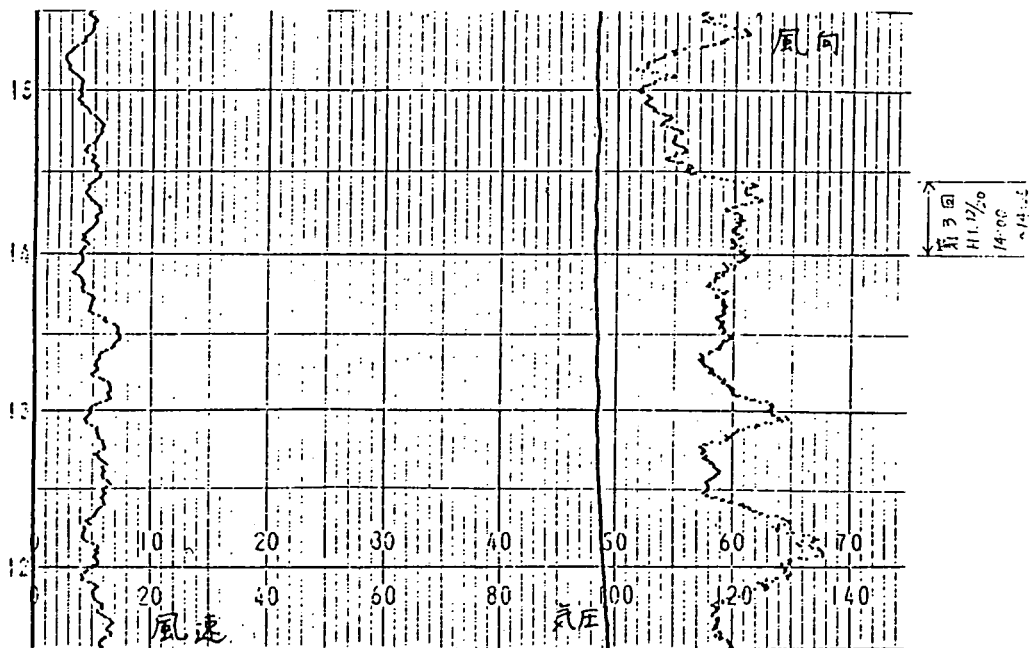


変動幅 8.0 m/sec  
3.6 + 4.4 m/sec  
- 3.1 m/sec

坑口側  
[測点B、地上13m]  
W ← N

11W + NNW  
- 0  
変動幅 15°  
← N

変動幅 38°  
N + 0  
- NNW

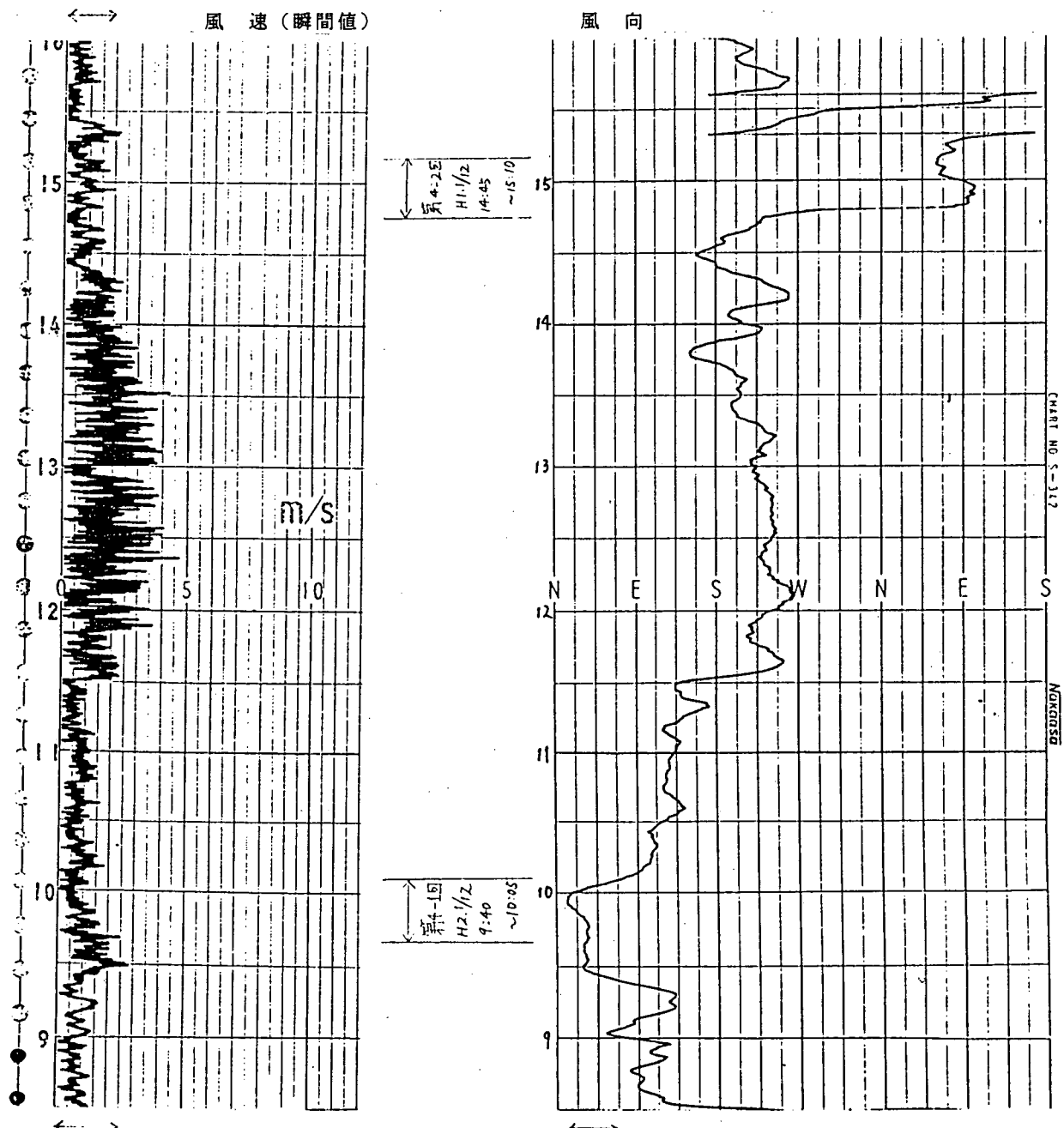


0 ← 10 m/s (平均値)  
変動幅 1.0 m/s  
2.2 + 1.0 m/s  
- 0 m/s

図-10 第4-1、2回拡散実験時の風向・風速の変動状態

通気立坑側

〔測点5、地上18m〕



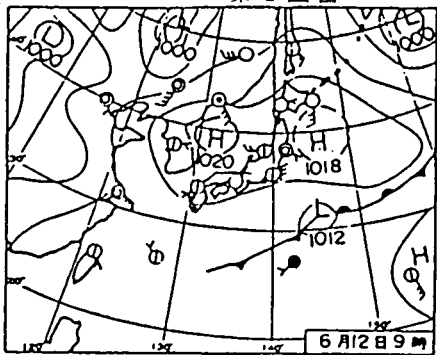
第4-1回 変動幅 2.5 m/s

0.8 + 1.7  
- 0.8 m/s

第4-1回 変動幅 51°

NNE + ENE (中央値 NE)  
- 0

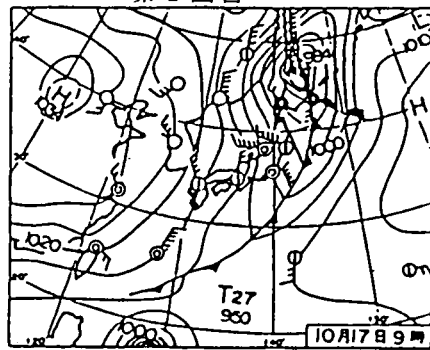
第1回目



12日(月)梅雨の中休み

梅雨F南下、移動Hにおおわれ、ほぼ全国的に①、10時・11時アメダス●なし、東京も4日ぶりに①、上空に寒気入り、輪島500mb-18.1℃は月間最低、日雨量宮古島の城辺68mm

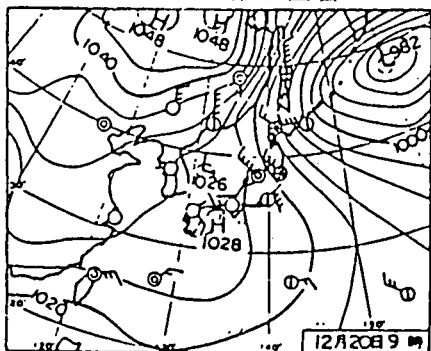
第2回目



17日(火)強い冬型

L, さらに発達してオホーツク海へ。c・fも東海上に抜け、大陸のH張り出す。東～北日本で季節風強く、東北・上越新幹線で減速運転、寒気入り、札幌500mb-33.1℃。日光初⊗。

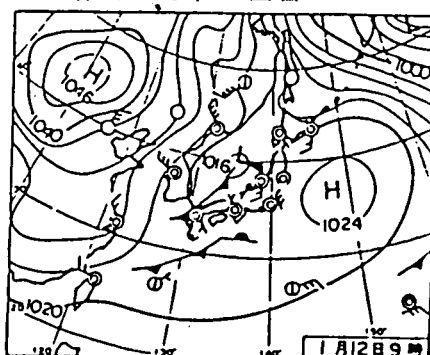
第3回目



20日(水)東京 初氷

西日本は移動H, 東～北日本は縦続続く。早朝冷えて銚子・千葉・和歌山・湖岬でも初氷。東京八王子min -4.8℃で1cmの水。正午都心の湿度20%は月間最低。米軍パナマに進攻。

第4-1、2回目



12日(金)冬の竜巻き

日本海のL, 発達しながら夜北海道東部へ。南岸にもF.0930三宅島の北西海上に竜巻き望見。九州の●域、昼近畿地方へ。関東は09時頃●降るが午後①。佐賀・鹿児島ツバキ開花。

図-11 拡散実験時の天気図(「気象」より抜粋)

	不安定		中立		安定			
	強い不安定	不安定	やや不安定	中立	やや安定	安定	強い安定	
	a	b	c	d	e	f	g -	
大気安定度	A	B	C	D	E	F	G -	
風向変動	25°	20°	15°	10°	5°	25°		℃
気温減率	-2.0	-1.9	-1.6	-1.4	-0.4	1.6	4.1	℃/100m

表-3 気象因子別安定条件



## 2. 気象観測結果

図-12に平成元年4月から平成2年1月までの東濃鉾山・通気立坑（気象観測塔：測点5、地上18m）で観測された月別の風向出現頻度と風速の平均値を示す。

それぞれのグラフは東（E）を0°とした16方位の風向出現頻度を示しており、15%の出現頻度を円グラフにしている。

毎月のグラフは、1日のうち日の出から日の入までを昼（日中）として、それ以外を夜（夜間）として集計されている。

10ヶ月を通じての平均風速は1.6 m/sで、日中は1.8 m/s、夜間では1.5 m/sとあまり変化はないが、総じて日中の方が風が強く風速変動も大きい。この平均風速は、一般的な沿岸部や開けた平地部の風（2～5 m/s）に比べて弱い。これは大気の抵抗が少ない上空や海上で風が強く、表面摩擦の大きい内陸部に行くほど風速が弱くなるためである。内陸であっても標高差が大きくなると山岳風の影響で風速も強くなるが、現地では少ない。

風向は一年を通じて夜間ではNWからSEと吹いており、日中は平均化されているがSEからNWへと逆の風が吹いている。また、日中・夜間共に10月から4月までの期間は、季節風の影響を受けてNEからの風が多くなっている。

これらの全体的な傾向は、山の斜面が日射により暖められて上昇気流が生じ、これが集まって斜面を駆け上がる山谷風として説明できる。

現地では、西の賤洞側の谷が東の正馬様側より開けているため、日中の気温上昇が大きく上昇気流の差によりEからWへと風が吹き、夜は逆の理由でWからEへと風が吹くものと思われる。尚、夜間の方が日中に比べて大気擾乱が少ないので山谷風の影響が純粋に現れており、正馬様側では谷がSE方向にずれているためNW方向の風が支配的である。

坑口側では、同様の理由で日中はE方向から、夜間はWからの風が多い。

このほか、現地では日本式パスケル法により求めた大気安定度は現地の風速が弱いため、ほとんど中立（C、D）として区分されてしまうのに、風向変動幅は安定なはずの夜間でも25°より大きく強い不安定状態を示しており、1年を通じてかなり強く拡散されていることが予想される。

東濃鉾山では上記のように、風速よりも風向変動や日射での上昇気流による拡散が支配的なので拡散軸を固定してのトレーサー実験は無意味であり、大気の採取地点は坑口を中心として同心円状に設けるなど地形の影響を考慮に入れて拡散実験を行なう必要がある。

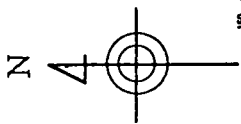
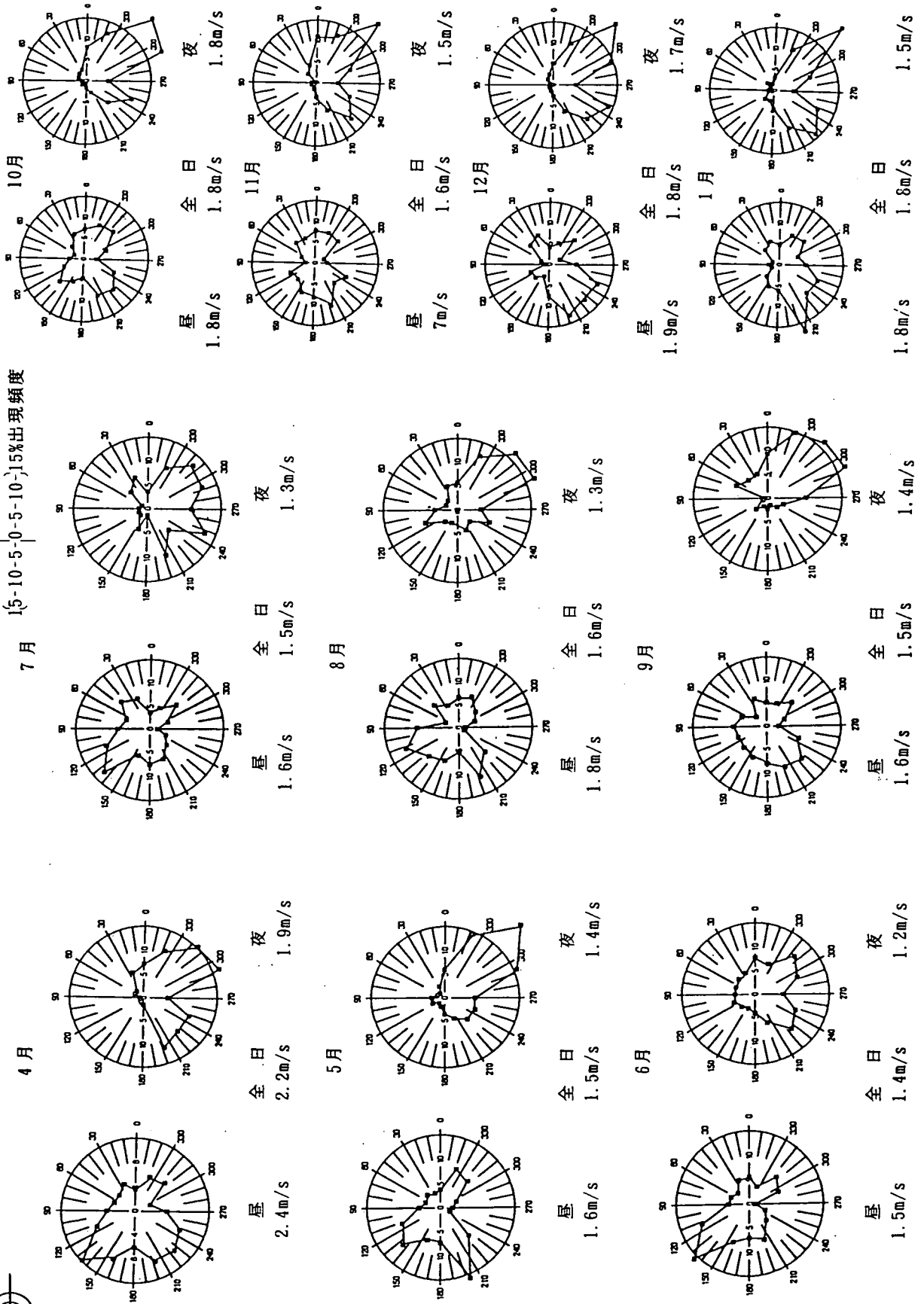


圖-12 月別風向別出現頻度

15-10-5-0-5-10-15%出現頻度



### 3. SF<sub>6</sub>トレーサー拡散実験結果

#### a. 第1回SF<sub>6</sub>拡散実験 (H1.6/12)

第1回拡散実験時の各測定点 (B、a~l) で5分毎に得られたSF<sub>6</sub>トレーサーガスの分析結果を表-4に示す。

それぞれの測定点で得られた分析値を30分間で平均化して求めたコンターマップを図-13に示す。図中の数値はppbで表示したSF<sub>6</sub>の濃度である。

坑口 (測点B、地上13m) での風向は図-7のようにWからEへN方向よりに吹いているが、実測されたSF<sub>6</sub>濃度はENよりもES方向が高く検出されている。

それぞれの測定値には個々のばらつきがあるが、放出中は測点kで一定して高濃度に検出されており、測点aでは放出5分後のみが高くなっている。

第1回実験時の風はほぼWからEへと吹いていたが、風向軸上の測点eよりも障害物の無い測点kで5倍ほど高く検出されている。

測点Bは近距離のため変動要因が少ないはずであるが、実際にはSF<sub>6</sub>が放出された11:05~18までの3回の分析濃度は10倍近く違っている。

また、ここではSF<sub>6</sub>が生ガスのまま $1 \times 10^9$  ppb (100%) で放出されているが、15cm風上に離れただけで最低でも $5.2 \times 10^5$  PPbと1/1000以上希釈されており、風向成分の違う気流の混合は非常に強く、すみやかに希釈されることが証明された。

発煙筒の観察結果から、測点cは地形の影響を受けSF<sub>6</sub>が上空を流れてあまり検出されなかったほか、測点d、g、h、jは上空を流れたSF<sub>6</sub>が雑木林により侵入を妨げられて低濃度を示したものと思われる。

これらの結果から、平面的なサンプリングだけでは拡散したトレーサーの主軸を捕えることができず複雑な地形での希釈状況が把握できないことが予想される。

また、今回行なった人力による大気の捕集は簡便だが、以下のような欠点があることがわかった。

- 1) 採取時間が3分以内と短かくSF<sub>6</sub>が測定地点に到達する前に大気採取を終了するため、風の動きが平均化されず希釈状況が確認できない。
- 2) 大気採取に個人差や時間的なずれが生じるため同一条件にならない。
- 3) 各測点で5分毎に試料が生じるため分析作業量が非常に多くなる。
- 4) 実験に際し多人数を一度に集めなければならず、毎回捕集についての教育が必要である。

以上の結果より次回からは通常の拡散実験と同様に、タイマーとポンプを利用して大気採取時間を延長するとともに、風の上下変動がわかるように立体的に測点を設けることにした。

そこで平面上は8方位につき遠くと近くの2距離16地点と、立体的には各地点高低2箇所ずつ合計32点のサンプリングを目標として拡散実験を予定した。

しかし、新たに高測点用のサンプラーを設置するのは困難なので、周辺の雑木の中で背の高いものを各方位別に選んでサンプラーを架け放出面より高い位置から拡散大気を捕集することにした。

表-4 第1回SF<sub>6</sub> トレーサー拡散実験分析結果

平成元年6月12日(月)

SF<sub>6</sub>濃度(ppb)

測定点	大気採取場所	11:00~03	11:05~08	11:10~13	11:15~18	11:20~23	11:25~28	11:30~33	30分平均値
B	W~0.15m	1.24	140000	60000	520000	未分析	210	61	120000
a	NE~35m	0.07	0.61	45	0.06	0.14	0.02	0.04	6.5
b	NE~100m	0.04	0.02	0.04	0.02	0.07	0.09	0.05	0.05
c	ENE~130m	0.09	0.09	0.73	0.21	1.30	0.08	1.80	0.61
d	ENE~200m	0.09	0.07	1.60	2.30	1.50	0.16	0.15	0.84
e	E~35m	0.04	0.02	25.2	8.2	6.7	0.21	0.04	5.8
f	E~70m	0.05	0.20	15.8	0.47	18.0	0.22	0.05	5.0
g	E~150m	0.01	0.09	0.38	0.49	1.40	0.02	0.13	0.36
h	E~175m	0.07	0.11	0.62	2.10	1.60	0.10	0.06	0.67
i	ESE~110m	0.04	0.03	2.01	2.00	6.1	2.10	0.08	1.80
j	ESE~190m	0.02	0.10	1.10	3.50	0.79	0.13	0.14	0.83
k	SE~50m	0.05	1.80	79	97	3.6	0.29	0.09	26.0
l	SE~115m	0.04	0.06	3.8	2.10	5.4	2.80	0.45	2.10



b. 第2回SF。拡散実験以降

第2回拡散実験以降のSF。トレーサーガス分析結果の一覧を表-5~8に示す。表中のSF。濃度(ppb)は、SF。が未検出の場合に0で表示し、検出下限以下の測点を0.00として区別した。

表中のNo.に付けた'印はそれぞれの大気採取地点で樹木上に設置した高測点を表している。希釈率は各測定点でのSF。濃度を測点1初期濃度で除して求めた。

表中の相対高さは実験時の平均風速を使ってHollandの式から求めた吹上高さと標高差、地上高を差し引きした各測点の高度差を表す。

各地点でのSF。の濃度を図-14~17までの拡散濃度地形図の地図上に落とした。濃度地形図の縮尺は1/1000である。

通常、拡散実験では変動要因が多いので希釈率が2倍程度の差ならば一致していると考えて良い。

第2回と第3回では、風速が大きいため吹上高さが低く押さえられ、周囲のサンプラーの高さと一致し拡散状況がよく反映されているが、両実験は風向の違いにもかかわらず非常に良く似ており、第2回のN方向が検出されていないこと、測点7'で高濃度に検出されたこと、第3回で測点12の濃度が上下逆転していることを除いてはほとんど同じ拡散結果を示している。

第2回では10m離れただけで1/60に、第3回では1/36に希釈されているほか、第2、3回とも40m離れただけで1/200以下に希釈されている。

第4-1、2回は風速が弱く吹上高さが大きくなったため測定網よりも遠くへ拡散されて各測点の濃度には関連性がない。しかし、ほとんどの測点でSF。を検出しており全方位的に拡散していることがわかる。

風速以外の気象条件がほぼ同じ第4回実験では、風速の大きい第4-1回が強く希釈される筈だが、実際には気温と日射がわずかに高い第4-2回で良く検出されている。これは日射による上昇気流で風の上下動が生じ広く拡散されたと思われる。

第3回から第4回までの各高測点と低測点の希釈状況を図-18~23の拡散平面図(濃度コンターマップ)に示す。

このコンターマップは、調査範囲(東西110m南北95m)を10×10メッシュに分割し、各メッシュの中心からもっとも近い2つの実測点の濃度から距離の逆二乗により仮想値を計算してから各メッシュ中心の仮想値を基に1/10間隔のコンターを作図したものである。

(使用コンピューター:Macintosh Plus、使用プログラム:MacGRIDZO)

コンターマップは拡散を理解するためのもっとも簡便な方法であるが、測定点数が少ないときや調査範囲内に均一に存在しないときは解釈に注意が必要である。

各コンターマップは1/100までほぼ同心円状に描かれており、これは初期濃度に対する近距離での強い希釈状況を示している。

これらの結果より、現地ではまず最初に上方に放出した排気が水平方向の風によって強く希釈された後、風に流されながら風向の変動により広く拡散されることがわかった。

表-5 第2回SF<sub>6</sub>拡散実験GC分析結果 (H1.10/17)

風速: 3.7 m/s 吹上高さ = 6.6m

N <sub>o</sub>	場所	距離 x (m)	N-E y (deg)	地上高 (m)	SF <sub>6</sub> 濃度 (ppb)	希釈率 (-)	相対高さ z (m)
1	通気立坑-奥	0	-	-1	20800	1	-7.6
2'	通気立坑口	-	-	-	-	-	-
3'	北-近-高	18.5	30	8	0	∞	4.4
3	北-近-低	-	-	-	-	-	-
4'	北-遠-高	47	8	13	0	∞	1.4
4	北-遠-低	47	8	7	0	∞	-4.6
5'	北東-近-高	13	65	16	0.54	2.60E-05	11.4
5	北東-近-低	13	65	5	0.21	9.90E-06	0.4
6'	北東-遠-高	-	-	-	-	-	-
6	北東-遠-低	-	-	-	-	-	-
7'	東-近-高	14	108	12.5	19.6	9.43E-04	2.9
7	東-近-低	14	108	1.5	9.65	4.64E-04	-8.1
8'	東-遠-高	47	90	8	0.04	1.76E-06	-2.6
8	東-遠-低	47	90	2	0.01	4.90E-07	-8.6
9'	南東-近-高	-	-	-	-	-	-
9	南東-近-低	-	-	-	-	-	-
10'	南東-遠-高	-	-	-	-	-	-
10	南東-遠-低	-	-	-	-	-	-
11'	南-近-高	10	180	12	353	1.70E-02	1.4
11	南-近-低	10	180	1.5	124	5.95E-03	-9.1
12'	南-遠-高	39	180	13	86	4.13E-03	5.4
12	南-遠-低	39	180	1.5	45.7	2.20E-03	-6.1
13'	南西-近-高	-	-	-	-	-	-
13	南西-近-低	-	-	-	-	-	-
14'	南西-遠-高	-	-	-	-	-	-
14	南西-遠-低	-	-	-	-	-	-
15'	西-近-高	13.5	252	13	21.4	1.03E-03	4.4
15	西-近-低	13.5	252	1.5	35.2	1.69E-03	-7.1
16'	西-遠-高	51	274	10	0.06	3.10E-06	13.4
16	西-遠-低	51	274	1.8	0	∞	5.2
17'	北西-近-高	-	-	-	-	-	-
17	北西-近-低	-	-	-	-	-	-
18'	北西-遠-高	-	-	-	-	-	-
18	北西-遠-低	-	-	-	-	-	-

表-6 第3回SF<sub>6</sub>分析結果 (H1.12/20)

風速: 3.6 m/s 吹上高さ = 6.8m

N <sub>o</sub>	方位	距離 x (m)	N-E y (deg)	地上高 (m)	SF <sub>6</sub> 濃度 (ppb)	希釈率 (-)	相対高さ z (m)
1	-	0	放出	*5	17300	1	11.8
2'	-	#0	-	0.3	9790	5.66E-01	6.5
3'	N	18.5	30	8	0.05	2.77E-06	4.2
3	N	#18.5	30	1.5	0.07	3.87E-06	-2.3
4'	N	47	8	13	0.14	7.98E-06	1.2
4	N	47	8	*1.5	0.06	3.18E-06	-10.3
5'	NE	13	65	16	1.13	6.53E-05	11.2
5	NE	13	65	*1.5	0	∞	-3.3
6'	NE	#51	70	16	0.70	4.03E-05	11.2
6	NE	#51	70	1.5	0.17	1.00E-05	-3.3
7'	E	14	108	12.5	6.53	3.77E-04	2.7
7	E	14	108	1.5	4.85	2.80E-04	-8.3
8'	E	47	90	8	0.04	2.20E-06	-2.8
8	E	47	90	*1.5	0.06	3.29E-06	-9.3
9'	SE	#19	155	11	23.5	1.36E-03	-5.8
9	SE	#19	155	1.5	23.1	1.34E-03	-15.3
10'	SE	#34	160	15	37.9	2.19E-03	2.2
10	SE	#34	160	1.5	35.3	2.04E-03	-11.3
11'	S	10	180	*10	477	2.76E-02	-0.8
11	S	10	180	1.5	65.5	3.79E-03	-9.3
12'	S	39	180	13	58.4	3.38E-03	5.2
12	S	39	180	1.5	72.7	4.20E-03	-6.3
13'	SW	#11.5	202	14	142	8.21E-03	1.2
13	SW	#11.5	202	1.5	47.4	2.74E-03	-11.3
14'	SW	#50	250	12	3.70	2.14E-04	17.2
14	SW	#50	250	1.5	0.36	2.10E-05	6.7
15'	W	13.5	252	13	17.2	9.94E-04	4.2
15	W	13.5	252	1.5	46.0	2.66E-03	-7.3
16'	W	51	274	10	0.23	1.30E-05	13.2
16	W	51	274	*1.5	0.19	1.07E-05	4.7
17'	NW	#13.5	305	12	パンク	不明	9.2
17	NW	#13.5	305	1.5	0.12	6.82E-06	-1.3
18'	NW	#50	330	14	1.14	6.59E-05	13.2
18	NW	#50	330	1.5	0.04	2.31E-06	0.7

\*: 前回拡散実験より大気採取高度を変更したもの  
#: 大気採取地点を新設したもの

表-7 第4-1回SF<sub>6</sub>分析結果 (H2.1/12-AM)

風速: 0.8 m/s 吹上高さ=30.4m

No	方位	距離 x (m)	N-E y(deg)	地上高 (m)	SF6濃度 (ppb)	希釈率 (-)	相対高さ z(m)	標高 (m)
1		0	放出	*10	5690	1	-40.4	296
2'		0		0.3	5550	9.75E-01	30.1	同上
3'	N	18.5	30	8	0.02	3.51E-06	-19.4	299
3	N	18.5	30	1.5	0.01	1.23E-06	-25.9	299
4'	N	47	8	13	0.01	8.79E-07	-22.4	291
4	N	47	8	1.5	0.00	7.03E-07	-33.9	291
5'	NE	13	65	*10	0.01	8.79E-07	-18.4	298
5	NE	13	65	1.5	0.01	2.11E-06	-26.9	298
6'	NE	51	70	16	0.01	1.23E-06	-18.4	298
6	NE	51	70	1.5	0.00	7.03E-07	-26.9	298
7	E	14	108	12.5	0.01	1.23E-06	-20.9	293
7	E	14	108	1.5	0	∞	-31.9	293
8'	E	47	90	8	0.01	1.58E-06	-26.4	292
8	E	47	90	1.5	0	∞	-32.9	292
9'	SE	19	155	11	0	∞	-29.4	296
9	SE	19	155	1.5	0	∞	-38.9	296
10'	SE	34	160	15	0.00	7.03E-07	-21.4	290
10	SE	34	160	1.5	1.18	2.07E-04	-34.9	290
11'	S	10	180	10	1.36	2.39E-04	-22.4	292
11	S	10	180	1.5	1.19	2.09E-04	-32.9	292
12'	S	39	180	13	0.60	1.06E-04	-18.4	295
12	S	39	180	1.5	0.01	8.79E-07	-29.9	295
13'	SW	11.5	202	14	0.51	8.88E-05	-22.4	290
13	SW	11.5	202	1.5	6.76	1.19E-03	-34.9	290
14'	SW	50	250	12	5.17	9.09E-04	-6.4	308
14	SW	50	250	1.5	パンク	不明	-16.9	308
15'	W	13.5	252	13	2.82	4.96E-04	-19.4	294
15	W	13.5	252	1.5	5.36	9.42E-04	-30.9	294
16'	W	51	274	10	0.30	5.29E-05	-10.4	306
16	W	51	274	1.5	0.06	1.07E-05	-18.9	306
17'	NW	13.5	305	12	0.01	1.23E-06	-14.4	300
17	NW	13.5	305	1.5	0.01	1.23E-06	-24.9	300
18'	NW	50	330	14	0.01	1.41E-06	-10.4	302
18	NW	50	330	1.5	0.01	1.05E-06	-22.9	302

\*: 前回拡散実験より大気採取高度を変更したもの

表-8 第4-2回SF<sub>6</sub>分析結果 (H2.1/12-PM)

風速: 0.4 m/s 吹上高さ=60.8m

No	方位	距離 x (m)	N-E y(deg)	地上高 (m)	SF6濃度 (ppb)	希釈率 (-)	相対高さ z(m)
1	-	0	放出	-10	5942	1	-40.4
2'	-	0		0.3	5450	9.58E-01	30.1
3'	N	18.5	30	8	0.12	2.04E-05	-49.8
3	N	18.5	30	1.5	0.15	2.67E-05	-56.3
4'	N	47	8	13	0.44	7.77E-05	-52.8
4	N	47	8	1.5	0.12	2.09E-05	-64.3
5'	NE	13	65	10	3.56	6.26E-04	-48.8
5	NE	13	65	1.5	0.98	1.72E-04	-57.3
6'	NE	51	70	16	0.02	3.16E-06	-42.8
6	NE	51	70	1.5	0.14	2.44E-05	-57.3
7'	E	14	108	12.5	3.86	6.78E-04	-51.3
7	E	14	108	1.5	5.56	∞	-62.3
8'	E	47	90	8	ポンプ不良	不明	-56.8
8	E	47	90	1.5	0.72	∞	-63.3
9'	SE	19	155	11	0.10	∞	-59.8
9	SE	19	155	1.5	0.01	∞	-69.3
10'	SE	34	160	15	0.06	1.00E-05	-51.8
10	SE	34	160	1.5	0.02	3.87E-06	-65.3
11'	S	10	180	10	1.90	3.34E-04	-54.8
11	S	10	180	1.5	2.79	4.90E-04	-63.3
12'	S	39	180	13	0.07	1.27E-05	-48.8
12	S	39	180	1.5	0.01	1.93E-06	-60.3
13'	SW	11.5	202	14	23.2	4.08E-03	-52.8
13	SW	11.5	202	1.5	6.51	1.14E-03	-65.3
14'	SW	50	250	12	7.47	1.31E-03	-36.8
14	SW	50	250	1.5	0.17	2.95E-05	-47.3
15'	W	13.5	252	13	ポンプ不良	不明	-49.8
15	W	13.5	252	1.5	8.72	1.53E-03	-61.3
16'	W	51	274	10	3.98	6.99E-04	-40.8
16	W	51	274	1.5	0.16	2.86E-05	-49.3
17'	NW	13.5	305	12	4.97	8.73E-04	-44.8
17	NW	13.5	305	1.5	1.89	3.32E-04	-55.3
18'	NW	50	330	14	0.01	1.58E-06	-40.8
18	NW	50	330	1.5	0.05	8.79E-06	-53.3



図-14 拡散濃度地形図 (第2回拡散実験)

H1.10/17(火) 14:30~15:00

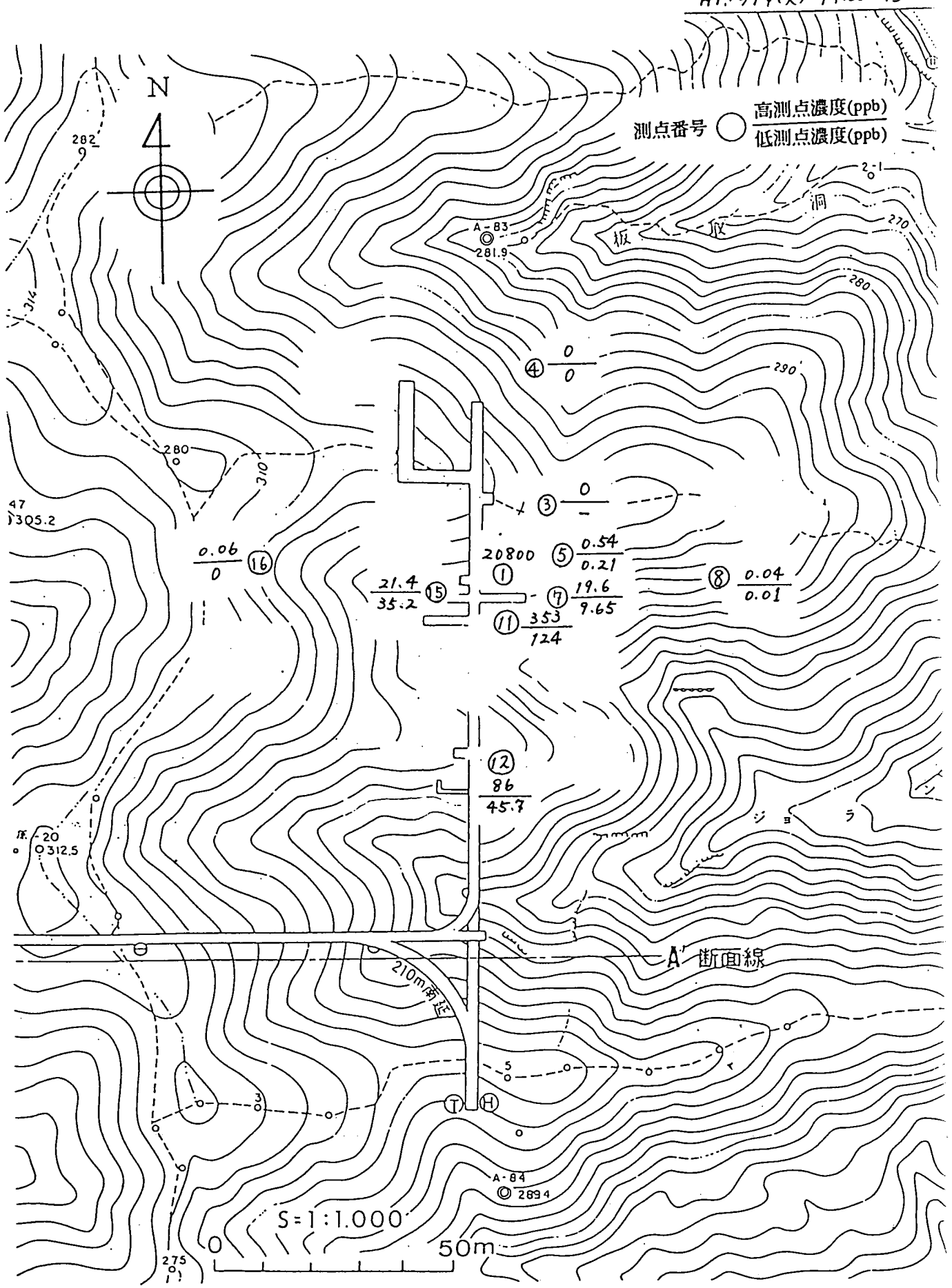


图-15 扩散浓度地形图 (第3回扩散实验)

H1.12/20(水) 14:00~14:2

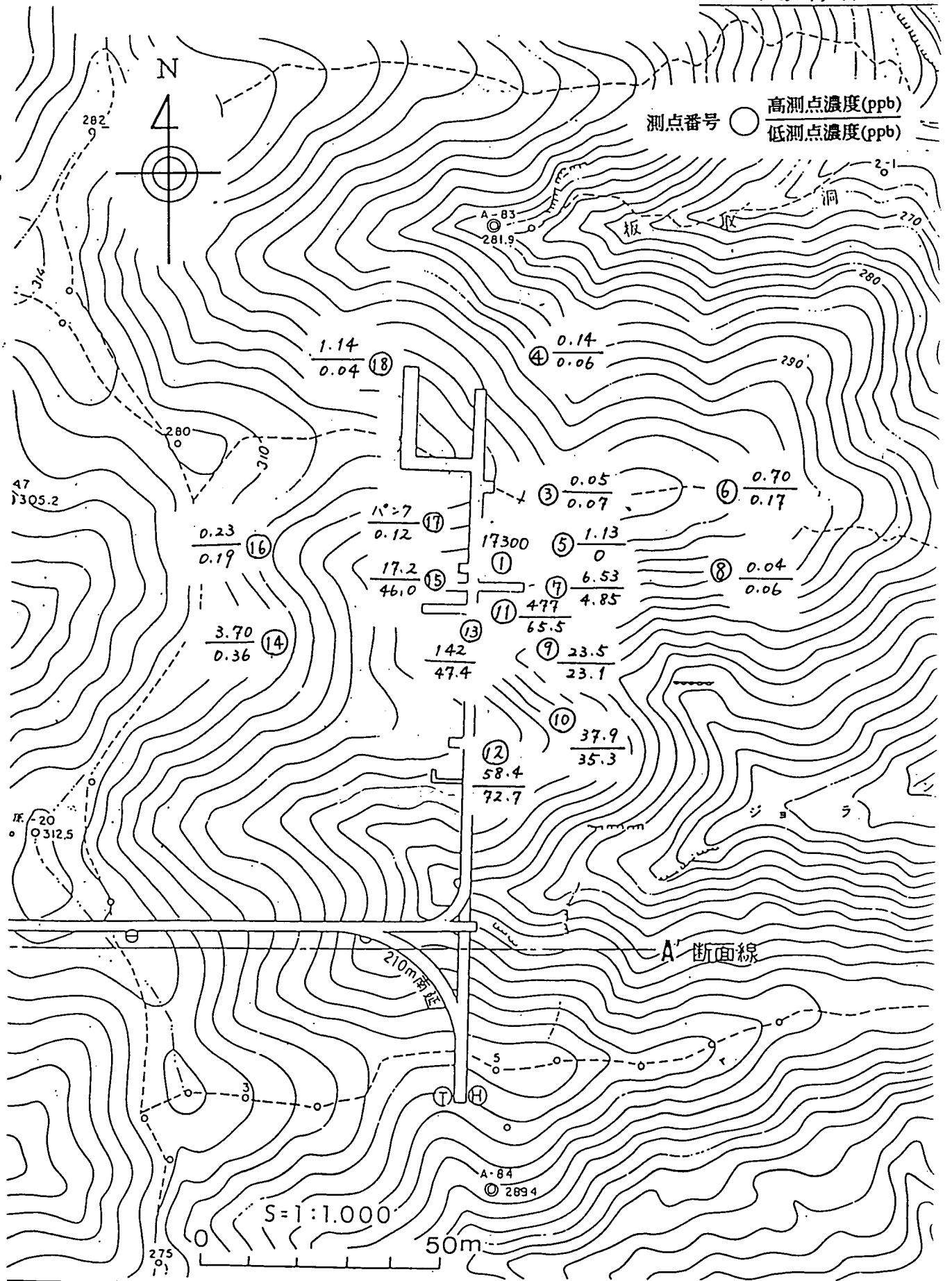


図-16 拡散濃度地形図 (第4-1回拡散実験)

H2.1/12(金) 9:40~10:01

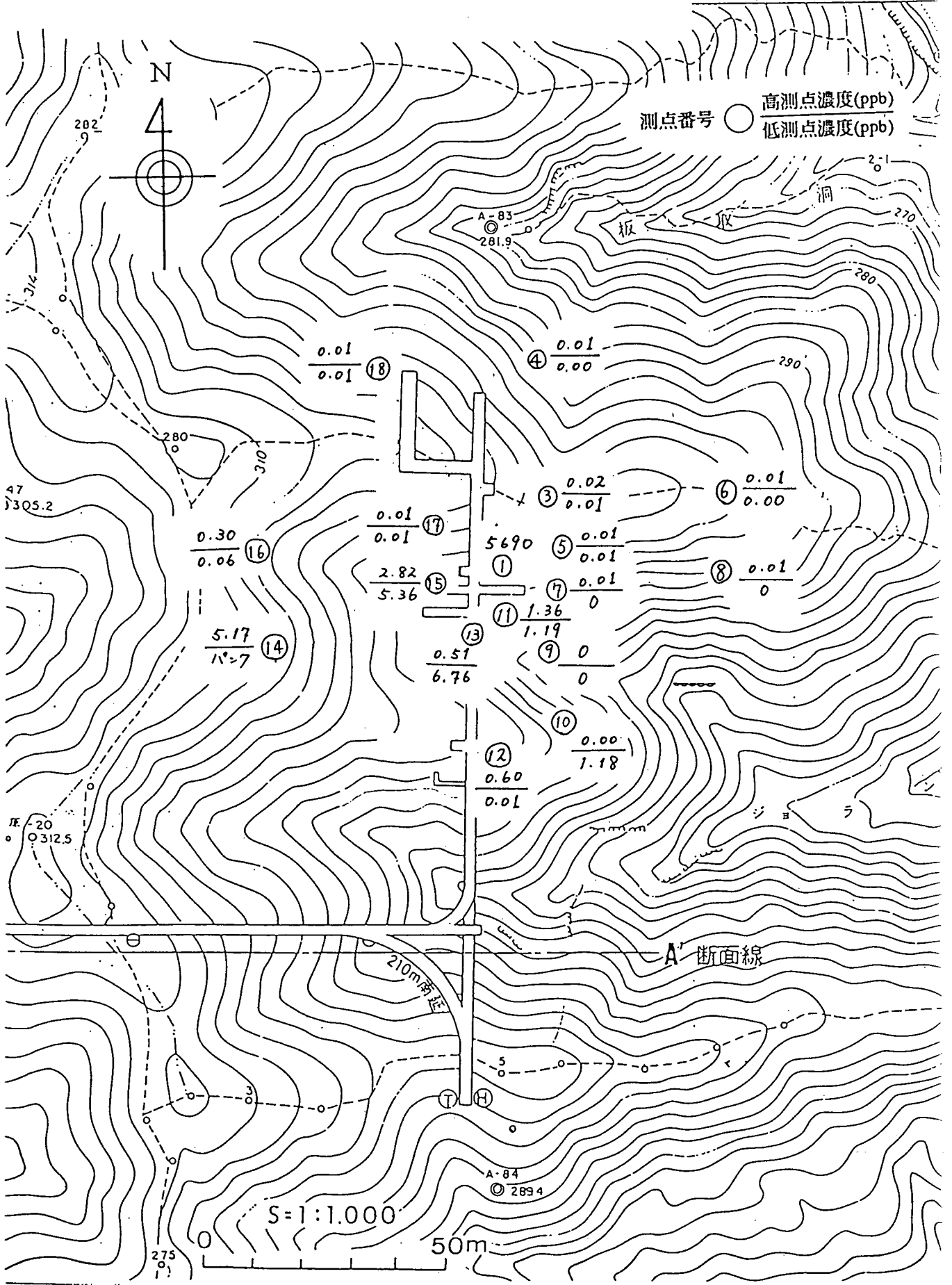
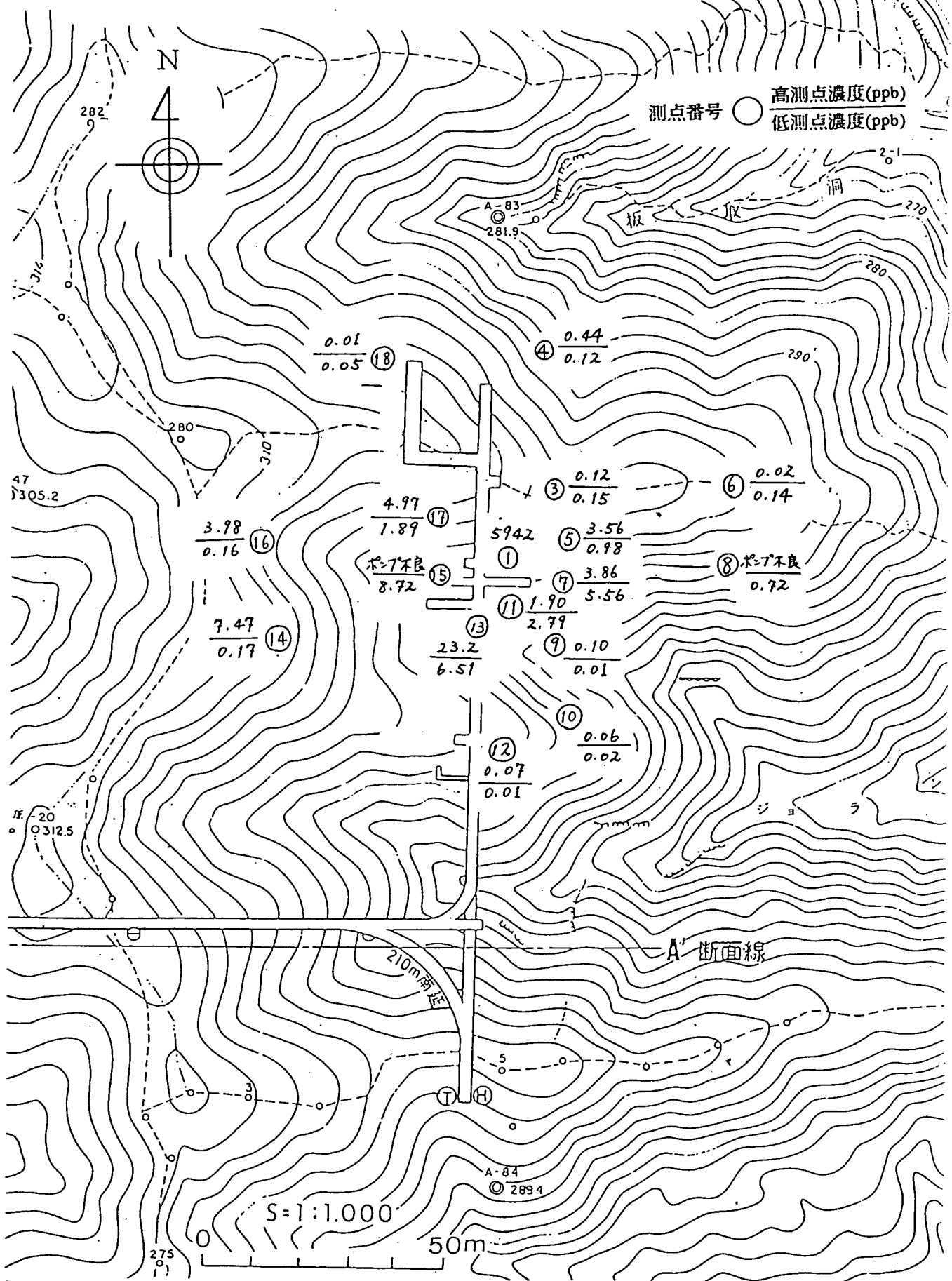


图-17 扩散浓度地形图 (第4-2回扩散实验)

H2.1/12(金) 14:45~15:1



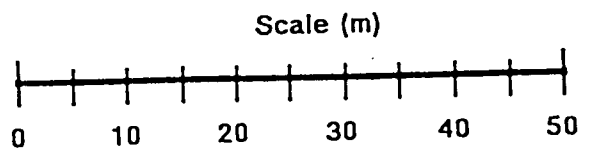
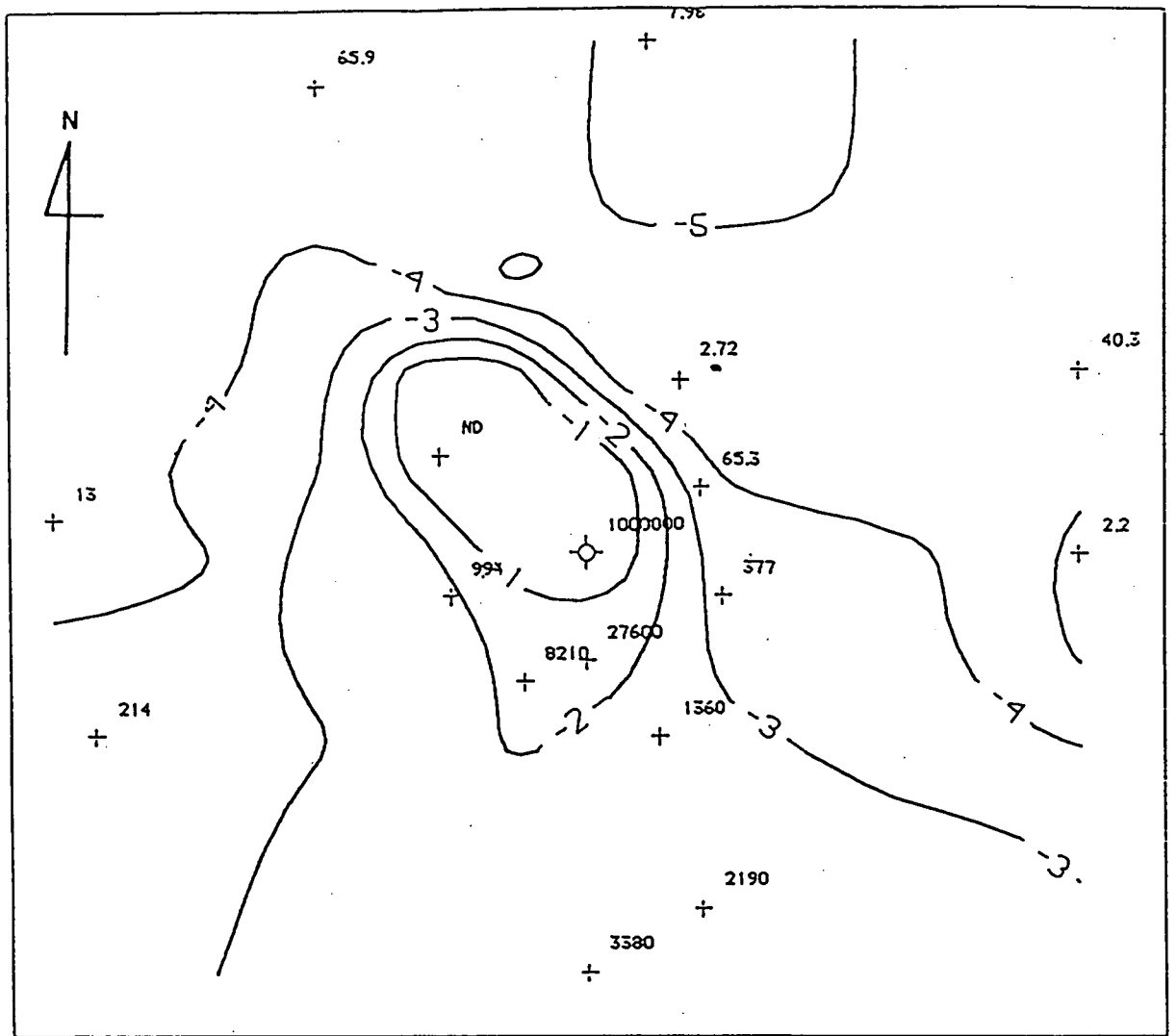


図-18 拡散平面図 (実験3 高測点)

実験日：平成元年12月20日

時刻：SF<sub>6</sub>放出時間：13:50~14:35

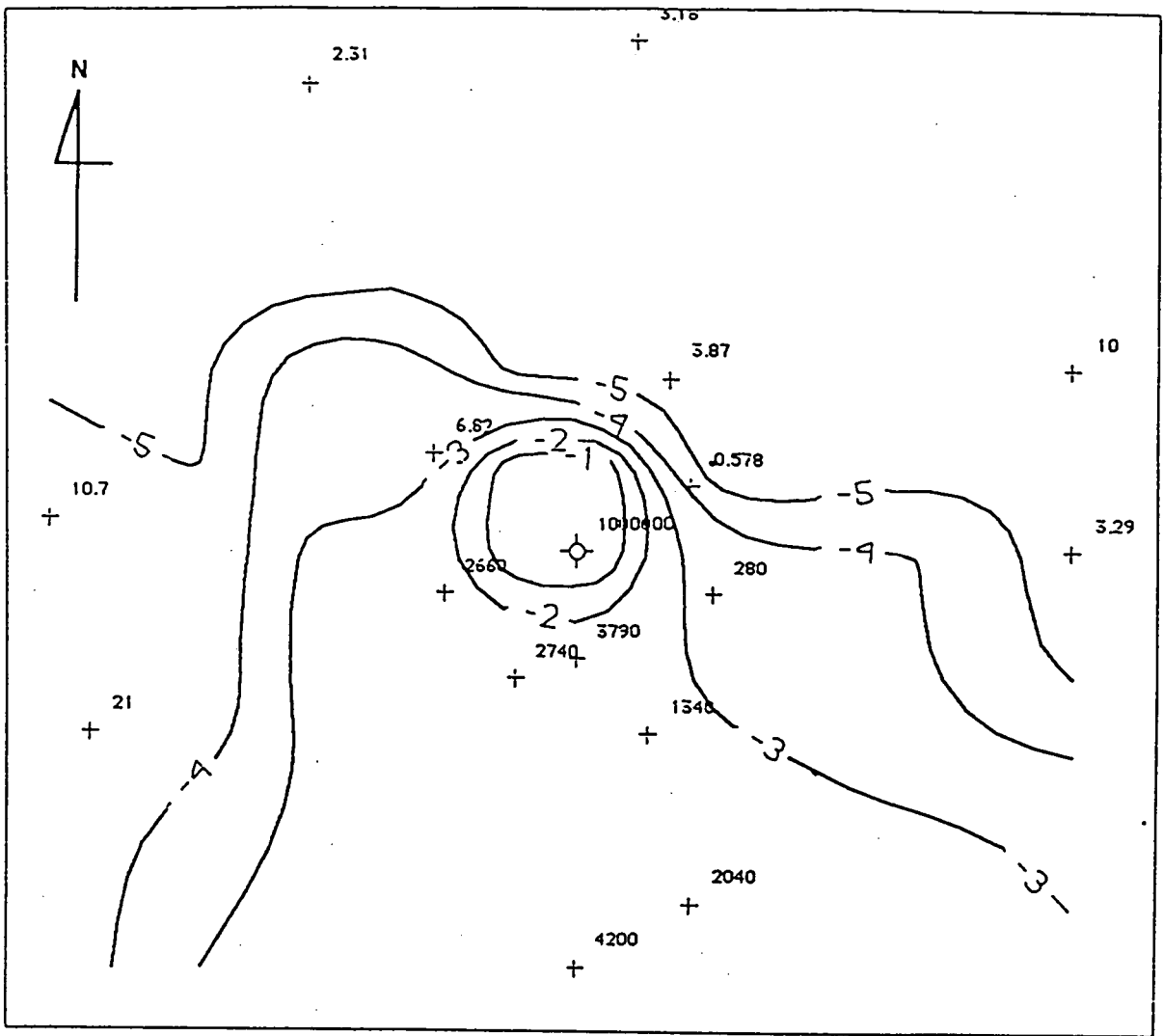
大気サンプリング時間：14:00~14:25

風向：N

風速：3.6 (m/sec)

濃度比の表示：SF<sub>6</sub>。放出場所 (通気立坑) を1として各測点とSF<sub>6</sub>。放出時濃度の比をあらわす。図中の数字は各測点濃度比の百万倍をあらわしている。

コンター図：SF<sub>6</sub>。放出場所 (通気立坑) から離れるに従ってSF<sub>6</sub>。がどのように拡散するか示すため、SF<sub>6</sub>。濃度比 (放出場所を1とする) の常用対数を取り捕獲大気中のSF<sub>6</sub>。濃度が放出されたSF<sub>6</sub>。濃度の10分の1になる距離をコンター図で示した。-1がSF<sub>6</sub>。放出場所 (通気立坑) の10分の1、-2が100分の1等となる。



Scale (m)

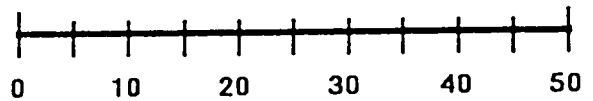


図-19 拡散平面図 (実験3 低測点)

実験日：平成元年12月20日

時刻：SF。放出時間：13:50~14:35

大気サンプリング時間：14:00~14:25

風向：N

風速：3.6 (m/sec)

濃度比の表示：SF。放出場所 (通気立坑) を1として各測点とSF。放出時濃度の比をあらわす。図中の数字は各測点濃度比の百万倍をあらわしている。

コンター図：SF。放出場所 (通気立坑) から離れるに従ってSF。がどのようにに拡散するか示すため、SF。濃度比 (放出場所を1とする) の常用対数を取り捕獲大気中のSF。濃度が放出されたSF。濃度の10分の1になる距離をコンター図で示した。-1がSF。放出場所 (通気立坑) の10分の1、-2が100分の1等となる。

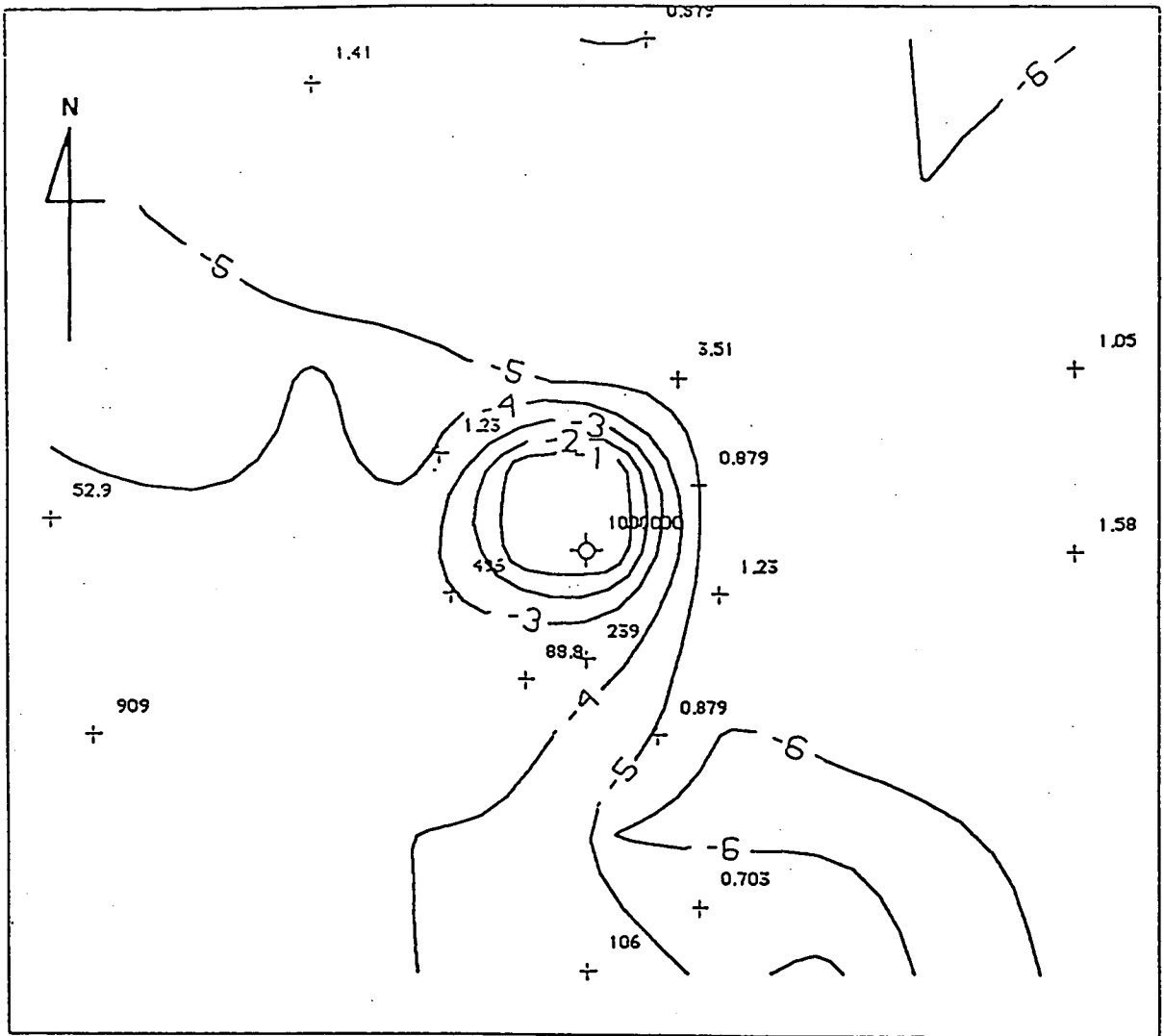


図-20 拡散平面図 (実験4-1 高測点)

実験日：平成2年1月12日

時刻：SF<sub>6</sub>放出時間：9:30~10:15

大気サンプリング時間：9:40~10:05

風向：NNE

風速：0.8 (m/sec)

濃度比の表示：SF<sub>6</sub>放出場所 (通気立坑) を1として各測点とSF<sub>6</sub>放出時濃度の比をあらわす。図中の数字は各測点濃度比の百万倍をあらわしている。

コンター図：SF<sub>6</sub>放出場所 (通気立坑) から離れるに従ってSF<sub>6</sub>がどのように拡散するか示すため、SF<sub>6</sub>濃度比 (放出場所を1とする) の常用対数を取り捕獲大気中のSF<sub>6</sub>濃度が放出されたSF<sub>6</sub>濃度の10分の1になる距離をコンター図で示した。-1がSF<sub>6</sub>放出場所 (通気立坑) の10分の1、-2が100分の1等となる。

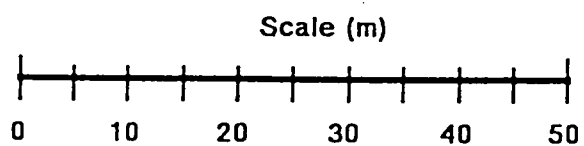
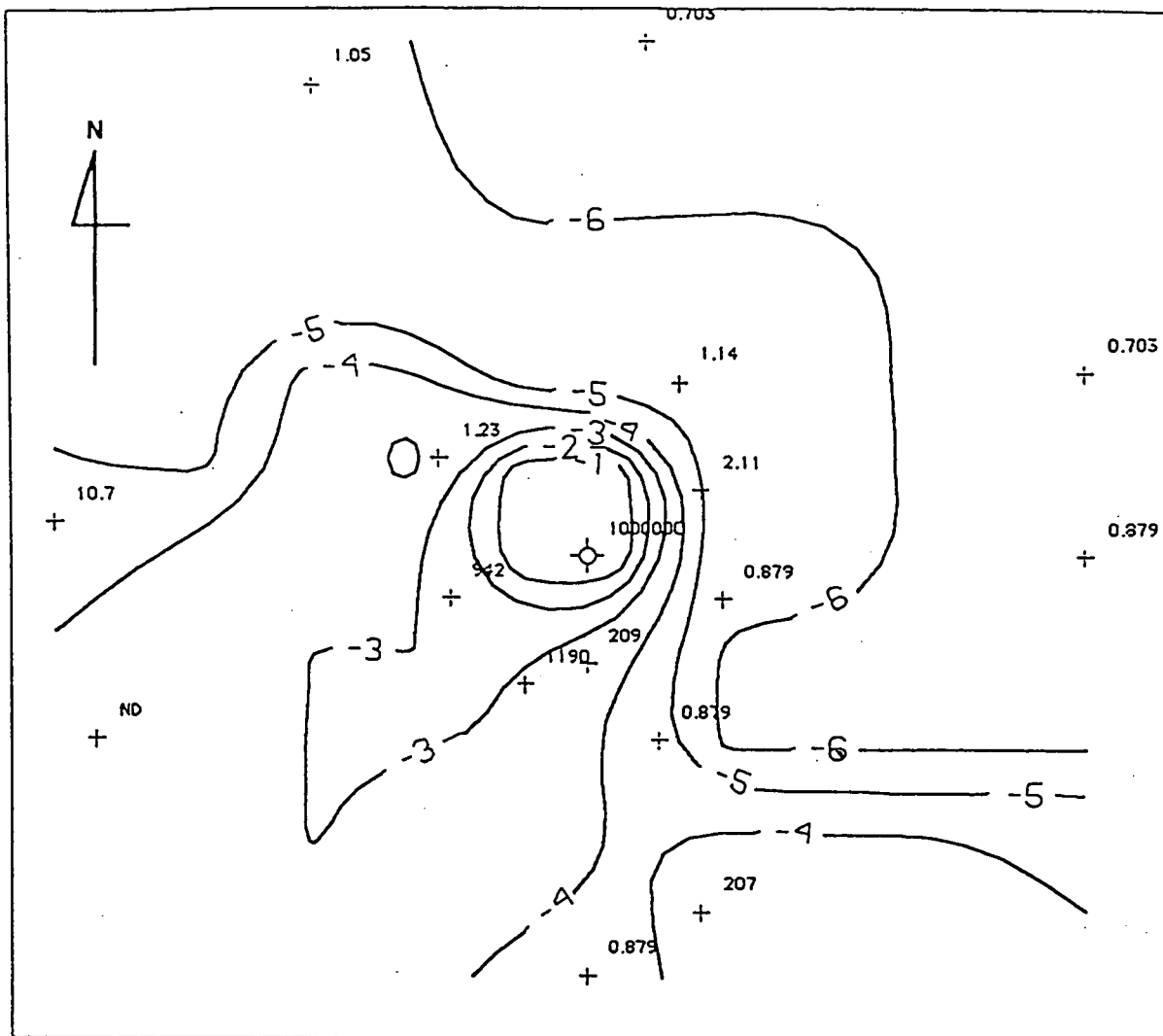


図-21 拡散平面図 (実験4-1 低測点)

実験日：平成2年1月12日

時刻：SF。放出時間：9:30~10:15

大気サンプリング時間：9:40~10:05

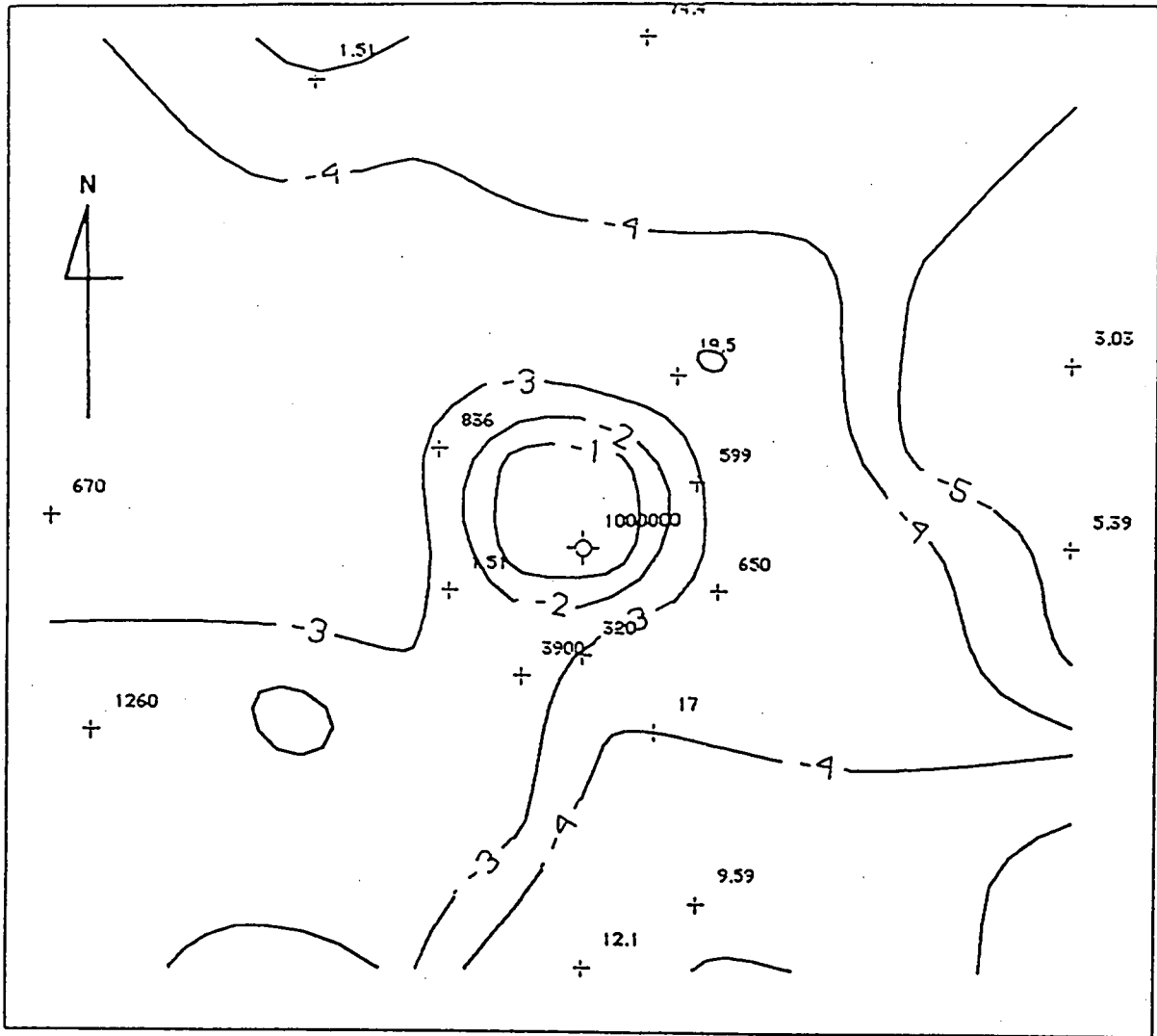
風向：NNE

風速：0.8 (m/sec)

濃度比の表示：SF。放出場所（通気立坑）を1として各測点とSF。放出時濃度の比をあらわす。図中の数字は各測点濃度比の百万倍をあらわしている。

コンター図：SF。放出場所（通気立坑）から離れるに従ってSF。がどのように拡散するか示すため、SF。濃度比（放出場所を1とする）の常用対数を取り捕獲大気中のSF。濃度が放出されたSF。濃度の10分の1になる距離をコンター図で示した。-1がSF。放出場所（通気立坑）の10分の1、-2が100分の1等となる。





Scale (m)

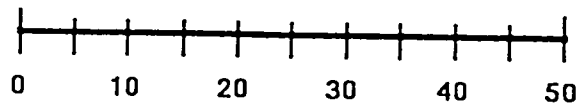


図-22 拡散平面図 (実験4-2 高測点)

実験日：平成2年1月12日

時刻：SF<sub>6</sub>。放出時間：14:35~15:20

大気サンプリング時間：14:45~15:10

風向：E

風速：0.4 (m/sec)

濃度比の表示：SF<sub>6</sub>。放出場所 (通気立坑) を1として各測点とSF<sub>6</sub>。放出時濃度の比をあらわす。図中の数字は各測点濃度比の百万倍をあらわしている。

コンター図：SF<sub>6</sub>。放出場所 (通気立坑) から離れるに従ってSF<sub>6</sub>。がどのように拡散するか示すため、SF<sub>6</sub>。濃度比 (放出場所を1とする) の常用対数を取り捕獲大気中のSF<sub>6</sub>。濃度が放出されたSF<sub>6</sub>。濃度の10分の1になる距離をコンター図で示した。-1がSF<sub>6</sub>。放出場所 (通気立坑) の10分の1、-2が100分の1等となる。

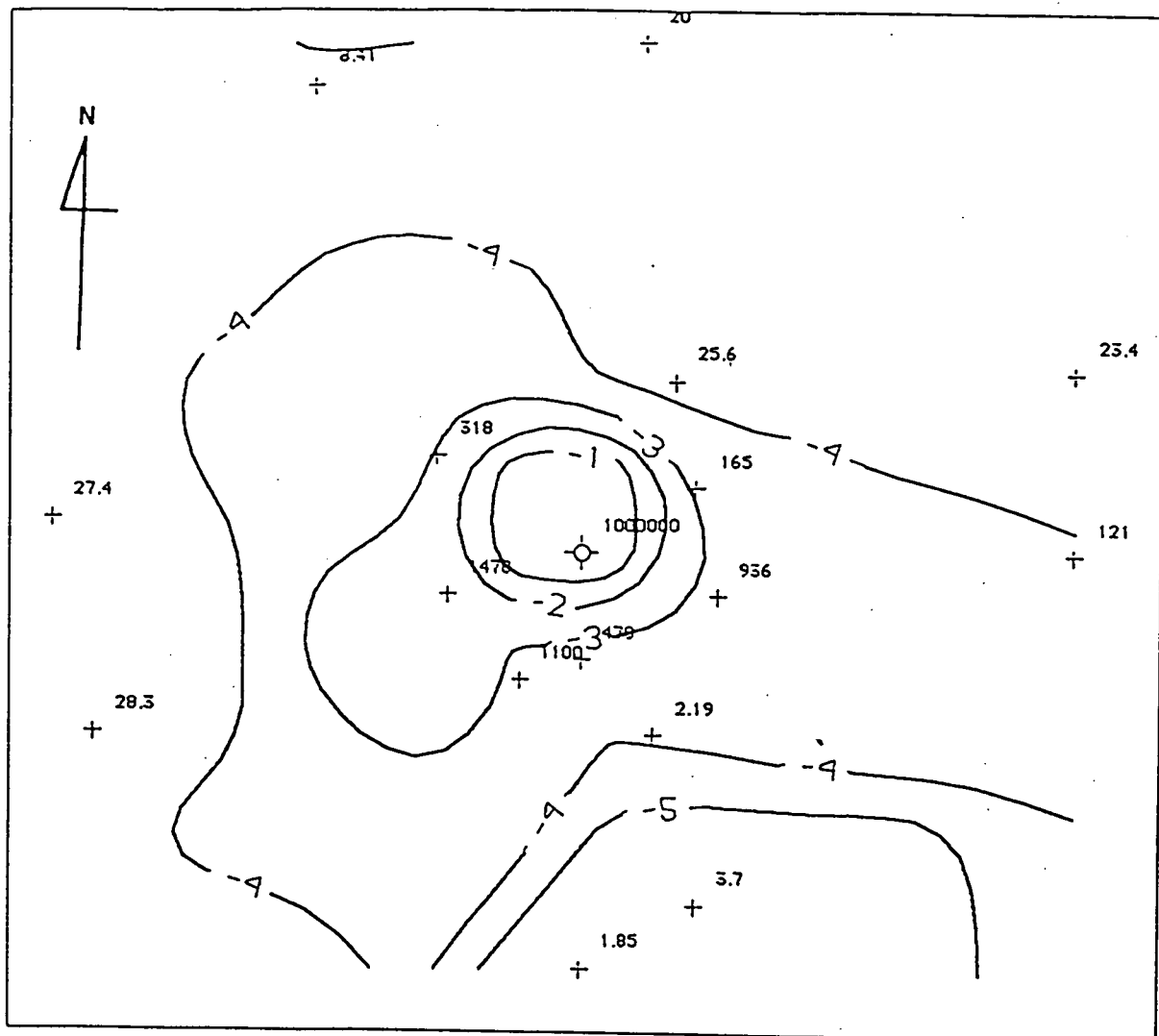


図-23 拡散平面図 (実験 4-2 低測点)

実験日：平成 2 年 1 月 12 日

時刻：SF<sub>6</sub> 放出時間：14:35~15:20

大気サンプリング時間：14:45~15:10

風向：E

風速：0.4 (m/sec)

濃度比の表示：SF<sub>6</sub> 放出場所 (通気立坑) を 1 として各測点と SF<sub>6</sub> 放出時濃度の比をあらわす。図中の数字は各測点濃度比の百万倍をあらわしている。

コンター図：SF<sub>6</sub> 放出場所 (通気立坑) から離れるに従って SF<sub>6</sub> がどのように拡散するか示すため、SF<sub>6</sub> 濃度比 (放出場所を 1 とする) の常用対数を取り捕獲大気中の SF<sub>6</sub> 濃度が放出された SF<sub>6</sub> 濃度の 10 分の 1 になる距離をコンター図で示した。-1 が SF<sub>6</sub> 放出場所 (通気立坑) の 10 分の 1、-2 が 100 分の 1 等となる。

c. 拡散方程式による計算結果との比較

S F<sub>0</sub> の拡散状況が良く検出されている第2、3回の結果を原子力安全委員安全審査指針集に記載の「発電用原子炉の安全解析に関する気象指針」に従って計算した結果を表-9に示す。表-10に各測点の通気立坑口面からの高さを示す。

この気象指針のもとになるガウス式の拡散式と日本式パスキル安定度分類は大気状態が定常場である必要があるほか、適用範囲も風下0.1~10kmに限られているので、今回の様な非定常場で対象範囲が狭いものは直接利用できない。しかし、この計算値を定常場の近似値として実験結果と比較することは可能である。

表-9に記載されていない測点の計算値は第2、3回ともすべて0 ppbであった。

計算では拡散軸を測点11に一致させた。第2回の実験では観測された風向どおり拡散軸をNWに規定すると計算値はすべて0 ppbになる。

計算には吹上高をHollandの式によって求め各測点の標高と地上高の差からZ軸のずれを算出し、Y軸は測点11からのずれを幾何学的に計算した。

これによると計算では拡散軸からずれるとどの測点でもほとんど検出されない筈であるが、実際には通気立坑周辺に広く希釈され全方位で検出されている。

表-11~12に気象指針に従って計算した近距離での拡散軸 $\sigma_y$ と $\sigma_z$ を示す。

第3回の実験結果の拡散濃度から水平方向と垂直方向の図-24と図-25のように作図して拡散幅を求めるとそれぞれ平均で $\sigma_y$ は7.6 m、 $\sigma_z$ は5.9 mと気象指針の拡散幅よりも5倍近く大きい。

図-24では第3回の実験結果の拡散濃度を同じ水平面として代入して最大予想濃度が1/10に希釈される水平方向拡散幅 $\sigma_y$ を求めた。同様に図-25では、各測点の方位(水平面)を無視して同一拡散軸中の垂直濃度分布としてグラフを作成し $\sigma_z$ を求めた。それぞれのグラフの内挿線はフリーハンドで作図した。

測定点の数が少ないためグラフの対象性が悪く上下や左右での拡散幅が同一にならないが、それぞれを平均して $\sigma_y$ と $\sigma_z$ を求めた。今回の実験では、各測点間の高度差が10m前後あるため前記のような仮定には問題があるが、大まかな拡散幅は予想できる。しかし、表-9 #印の様にこの拡散幅を代入すると計算結果は拡散幅付近で希釈され過ぎてしまい実測値と大きく違っている。

このように定常場を想定した計算では現地の拡散状態をうまく説明できない。これは、現地での拡散が非定常場であることを証明するものであり、主に風向の変動により拡散が支配される他、パスキル安定度分類に較べて日射の影響が大きく風速の影響が小さいためである。これらの法則性を抽出するにはもっと精密な拡散実験を種々の気象条件で数多く行なう必要があり、現実には実施不可能である。

以上の様に東濃鉾山では定常場よりも強く拡散される非定常場であることが風向観測や拡散実験結果から確認されたほか、実際の拡散予測は非常に困難であることが証明できた。

表-10 拡散実験時の通気立坑口面からの高さ

(第2回～第4 - 2回まで)

<近距離測定点>

No.	標高 (m)	距離 x(m)	N-E y(deg)	地上高 (m)	通気立坑口面 からの高さ(m)	場所
1	296	0	放出	-1, -5, -10+4m	同 左	通気立坑-奥
2	同上	0	-	-0.3+4m	同 左	通気立坑口
3	299	18.5	30	8	11	北-近-高
3	299	18.5	30	1.5	4.5	北-近-低
5	298	13	65	16.10	18.12	北東-近-高
5	298	13	65	5.1.5	7.3.5	北東-近-低
7	293	14	108	12.5	9.5	東-近-高
7	293	14	108	1.5	-1.5	東-近-低
9	286	19	155	11	1	南東-近-高
9	286	19	155	1.5	-8.5	南東-近-低
11	292	10	180	12.10	8.6	南-近-高
11	292	10	180	1.5	-2.5	南-近-低
13	290	11.5	202	14	8	南西-近-高
13	290	11.5	202	1.5	-4.5	南西-近-低
15	294	13.5	252	13	11	西-近-高
15	294	13.5	252	1.5	-0.5	西-近-低
17	300	13.5	305	12	16	北西-近-高
17	300	13.5	305	1.5	5.5	北西-近-低

<遠距離測定点>

No.	標高 (m)	距離 x(m)	N-E y(deg)	地上高 (m)	通気立坑口面 からの高さ(m)	場所
4	291	47	8	13	8	北-遠-高
4	291	47	8	7.1.5	2.3.5	北-遠-低
6	298	51	70	16	18	北東-遠-高
6	298	51	70	1.5	3.5	北東-遠-低
8	292	47	90	8	4	東-遠-高
8	292	47	90	2.1.5	-2.-1.5	東-遠-低
10	290	34	160	15	9	南東-遠-高
10	290	34	160	1.5	-4.5	南東-遠-低
12	295	39	180	13	12	南-遠-高
12	295	39	180	1.5	0.5	南-遠-低
14	308	50	250	12	24	南西-遠-高
14	308	50	250	1.5	13.5	南西-遠-低
16	306	51	274	10	20	西-遠-高
16	306	51	274	1.8.1.5	11.8.11.5	西-遠-低
18	302	50	330	14	20	北西-遠-高
18	302	50	330	1.5	7.5	北西-遠-低

表-9 拡散実験結果と計算値の比較 (近距離のみ)

No.	方位	第2回実測値 SF <sub>6</sub> (ppb)	第2回吹出し 式-計算値*	第3回実測値 SF <sub>6</sub> (ppb)	第3回吹出し 式-計算値*	第3回σyσz 計算値#
5'	NE	0.54	0	1.13	0	0
5	NE	0.21	0	0	0	0
7'	E	19.6	0	6.53	0	0.19
7	E	9.65	0	4.85	0	0.11
9'	SE	-	-	23.5	0	4.7
9	SE	-	-	23.1	0	0.84
11'	S	353	226	477	385	16.7
11	S	124	0	65.5	0	8.1
13'	SW	-	13.4	142	12.4	12.8
13	SW	-	9.1	47.4	6.7	4.3
15'	W	21.4'	0	17.2	5.8	0.23
15	W	35.2	0	46.0	0	0.17
17'	NW	-	-	バンク	0	0
17	NW	-	-	0.12	0	0

風速=3.7m/sec  
ΔH=6.6m

風速=3.6m/sec  
ΔH=6.8m

\*: 上記以外の # : グラフより求めた  
σy, σzによる  
計算値  
σy=5.9m  
σz=7.6m  
遠距離はσy, σz  
が不明のため計算せ  
ず。

表-11 日本式パスキル安定度別拡散幅  $\sigma_y$

単位 (m) 単位 (degree)

風下距離 x (km)	安定度	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	$\theta$ (0.1)
$\sigma_y$ (m)	A	38.6	20.3	10.7	4.5	2.37	50
	B	30.9	16.3	8.5	3.6	1.90	40
	C	23.2	12.2	6.4	2.72	1.42	30
	D	15.4	8.1	4.3	1.82	0.95	20
	E	11.6	6.1	3.2	1.36	0.71	15
	F	7.7	4.1	2.14	0.91	0.47	10

計算式  $\sigma_y = 0.67775 * \theta (0.1) * (5 - \log(x)) * X$

$\sigma_y$  : 水平方向拡散幅 (m)

x : 風下距離 (km)

$\theta$  : 水平 1/10濃度幅を見込む角 (deg)

表-12 日本式パスキル安定度別拡散幅  $\sigma_z$

単位 (m)

風下距離 x (km)	安定度	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	$\sigma_1$	a 1
$\sigma_y$ (m) (x < 0.2km)	A	29.5	14.0	6.7	2.51	1.20	165	1.07
	B	19.9	10.7	5.7	2.53	1.36	83.7	0.894
	C	13.8	7.5	4.0	1.78	0.96	58	0.891
	D	8.3	4.6	2.56	1.17	0.65	33	0.854
	E	6.2	3.4	1.89	0.86	0.48	24.4	0.854
	F	4.1	2.34	1.32	0.62	0.35	15.5	0.822

計算式  $\sigma_z = \sigma_1 * x^{a1}$

$\sigma_z$  : 鉛直方向拡散幅 (m)

x : 風下距離 0.2km (km)

a 1 : 定数 (-)

ガウス型の拡散式

$$C = \frac{Q}{2\pi \times U \times \sigma_y \times \sigma_z} \exp \left\{ - \left( \frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right) \right\}$$

C : 点 (x、y、x) における濃度 (c/m<sup>3</sup>)

Q : 放出強度 (c/s)

U : 水平方向の風速 (m/s)

$\sigma_y$  : 水平方向 (y軸) の拡がりパラメーター (m)

$\sigma_z$  : 鉛直方向 (z軸) の広がりパラメーター (m)

図-24 第3回拡散実験の $\sigma_y$  (近距離)

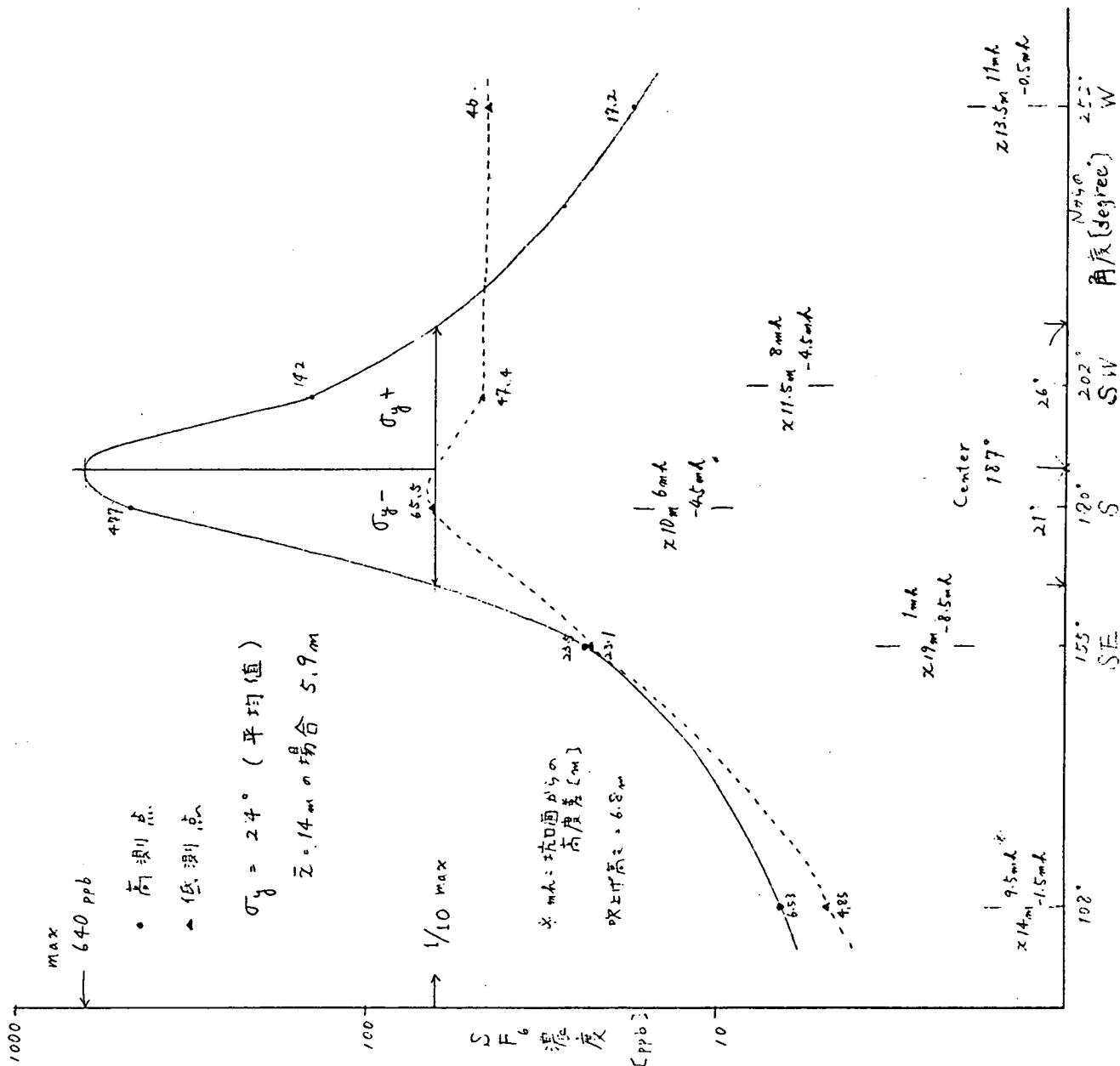
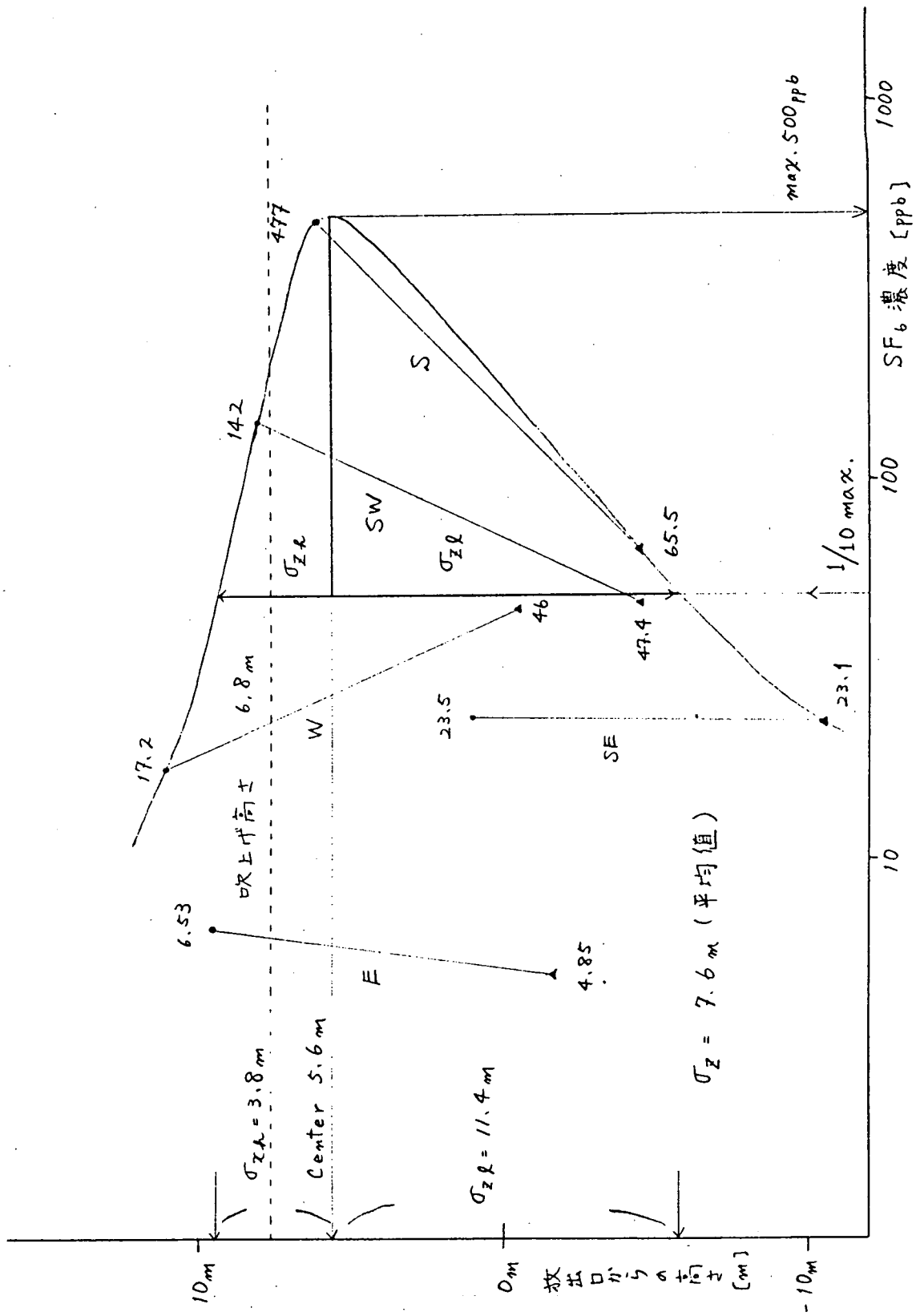


図-25 第3回拡散実験の $\sigma_z$  (近距離)



## 5. 結 語

今回の拡散実験により、東濃鉱山周辺では通気立坑から放出されたSF<sub>6</sub>（Rn）がすべての方位に約50m離れただけで1/100以下に希釈されることがわかった。

すなわち、Rn濃度の放出規制値は9 Bq/m<sup>3</sup>であるが、通気立坑から放出されているRn濃度の実測値は100~200 Bq/m<sup>3</sup>であり、50m離れただけで、1~2 Bq/m<sup>3</sup>になることから、東濃鉱山周辺のRn濃度は、放出規制値を充分下廻っている事がわかった。

また、現地の大気状態はほぼ非定常場にあり広く拡散されているので、定常場を想定したガウス型拡散式などによる濃度予測はより安全側に評価できることがわかった。

このほか、気象協会等に依頼してパフモデルや有限要素法などで数値計算的に拡散評価するなどの処置が可能であるが、近距離の非定常場では再現性に乏しくあまり必然性が無いと思われる。

以上のことより、拡散実験による濃度予測を行なうためには、現在以上の3次元的な気象観測（地上100m程度）と大気採取網（50測点以上）や数多くの実験結果が必要であり、経費や人手の面から事実上不可能であることがわかった。

## 参考文献

- 1) 平山 昭生他：再処理工場試験運転時における周辺環境空気中の<sup>85</sup>Kr濃度の測定、PNC T841-78-49、1978
- 2) 角田 道生他：英国法による濃度分布計算図、JAERI1101、1966
- 3) 田沢 三郎他：ハロゲン化合物をトレーサー物質とする排ガス拡散測定手法に関する研究、中部電力・電力技術研究所・研究資料No.39、1969
- 4) 加藤 龍夫著：大気汚染のガスクロマトグラフ技術、三共技術株式会社、1975
- 5) 河野 仁他：住宅地域における道路からの近距離拡散、大気汚染学会誌20(6) P.429~437、1985
- 6) 長沢 伸也他：起伏のある地形上における大気汚染予測について-総説-、大気汚染学会誌21(5)P.349~371、1986他
- 7) 岡本 真一他：複雑地形上におけるエアートレーサー拡散実験と山谷風の観測、天気、31、293~303、1984



## 付 録

### 使用機材一覧表

#### S F<sub>6</sub> 放出関係

S F <sub>6</sub> ガス (旭硝子製 : 99.9%以上、12kg入り10ℓポンペ)	1本
ヒーター付液化ガス用減圧弁 (田中製作所製 : オーロラ91A)	1台
電子上皿天秤 (ザルトリウス製 : 5807MP 6、max. 80kg, min. 1g)	1台
S F <sub>6</sub> ガス流量計 (小島製作所製 : RK1200-20-B-1/8-SF <sub>6</sub> -10ℓ-0-D)	1本
ポリウレタンチューブ (チヨダSP-4、ID3φ×OD4φ)	20m
放出ステンレス管 (SUS316 Bright Annealed Tubes ID3φ×OD4φ)	3m
各種コネクタ (島津製作所製 : パネルマウント2方ジョイント他)	5組
銀ロウ付けセット (島津製 : バーナー、銀ロウ、フラックス他)	一式
延長コード (50mドラムリール)	1巻
工具類 (スパナ、SUSパイプカッター他)	一式

#### 大気採取関係

サンプラー* (LEAD製タイマー : ONset=60分、OFFset=120分)	
(柴田化学製 : MP-2型ミニポンプ、2.0ℓ/min、-200mmHg)	13台
プログラムタイマー* (柴田化学製 : CT-4型、24時間、1動作、set1~99min)	5台
ミニポンプ* (柴田化学製 : MP-50W型、1~4.5ℓ/min、-200mmHg、充電式)	5台
ダイヤフラムポンプ { 榎本マイクロポンプ製モジュール : CM-11MC型、DC6V 東洋技研組み立て製作 : 3ℓ/min、-250mmHg }	20台
デジタルタイマー { 小泉コンピューター製モジュール : KS-1500M 関西科学機器サービス組み立て製作 : 3動作モード 24時間内最小プログラム単位 : 1分、DC12V }	30台
採取地点網地図 (縮尺 : 1/1000)	4枚
5ℓテドラバック (M6コネクター、コック付M6スリーブ付)	120枚
スプレーゴム球 (クラウン製 : 2連型、No.6)	62個
ポリエチレンチューブ (大気サンプラー用、ID1φ×OD2φ×200m巻)	2巻
シリコンチューブ (ポンプとバック接続用、ID4φ×OD7φ)	20m
テフロンチューブ (MP-50の接続用、ID3φ×OD5φ)	5m
タイゴンチューブ (ポンプとサンプラー接続用、ID1/16"φ×OD1/8"φ)	20m
カドニカ充電器 (サンヨー製 : NC-10、単1~3兼用、16時間充電)	4台
単3乾電池 (MP-2、CT-4、デジタルタイマー用)	320本
その他 ビニールテープ、ガムテープ、マジック、鋏、カッター、 ナイロンテグス (5号)、釣用鉛おもり (25号)、水系 (100m)、 双眼鏡、クリノメーター、巻尺など	

\*印のサンプラー等は東海事業所・安全部・環境安全課より借用した。

## 分析関係

ガスクロマトグラフ（島津製作所製：GC-14APTE、2流路系統	
検出器：ECDおよびTCD、4方バルブ付）	1台
インテグレーター（島津製：クロマトバックC-R6A、min.1 $\mu$ V/5msec)	1台
同上用フロッピーディスクユニット（FDD-1A:5.25"×2HD×2基）	1台
分析用カラム（ポラパック-Q 80/100mesh、ID3 $\phi$ ×2m、6m）	各1本
（モレキュラシーブ5A 80/100mesh、ID3 $\phi$ ×1m+3m）	各1本
キャリアガス（日本酸素製：純ガスB-N <sub>2</sub> ≥99.9995%、47 $\ell$ ボンベ）	1本
標準ガス（8.3ppm SF <sub>6</sub> ／純ガスS-N <sub>2</sub> 、47 $\ell$ ボンベ）	1本
プッシュ缶標準ガス（O <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> 、CO、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 他、6 $\ell$ 入）	各2本
洗浄用ガス（N <sub>2</sub> ガス×7m <sup>3</sup> 、N <sub>2</sub> ガス&Arガス×1.5m <sup>3</sup> ）	各1本
ガス減圧弁（千代田精機、クラウン、ヤマト産業各社製）	4個
ガスタイトシリンジ（PS製：A型：1、5ml、C型：0.25、1ml、	
D型：2ml、B-110型：25 $\mu$ l、50 $\mu$ l）	各1本
（伊藤製作所製：MS-GAN：1、5、10ml）	各1本
球形ガス捕集瓶（京都理化製：島津セプタム用注入口2ヶ付、約1 $\ell$ ）	10個
真空ガラス捕集瓶（名古屋三立製作所製：米・ACEバルブ8195付、	
真空度：1×10 <sup>-7</sup> torr、容量：1000±20ml）	4本
真空ポンプ（真空機工ULVAC製：GLD-050型、直結型：50 $\ell$ /min）	1台
ステンレス管（SUS316Bright Annealed Tubes ID1 $\phi$ 、ID2 $\phi$ 、ID3 $\phi$ 他多数）	一式
ポリウレタンチューブ（チヨダSP&TP-4、6、8各種）	20m
チューブ類（シリコン、テフロン、タイゴン、ビニール各種）	各種
コネクタ（島津製作所製、チヨダエンジニアリング、Swagelok他）	各種
銀ロウ付けセット（島津製他：バーナー、銀ロウ、フラックス）	2組
石鹼膜流量計（ガスクロ工業製：15m $\ell$ スケール）	1本
ストップウォッチ（セイコー製：デジタル型、分解能=0.01秒）	1台
恒温乾燥器（ヤマト科学製：使用温度範囲=40~250℃）	1台
各種工具類（精密ドライバー、スパナ、ニッパ、ラジオペンチ他）	一式

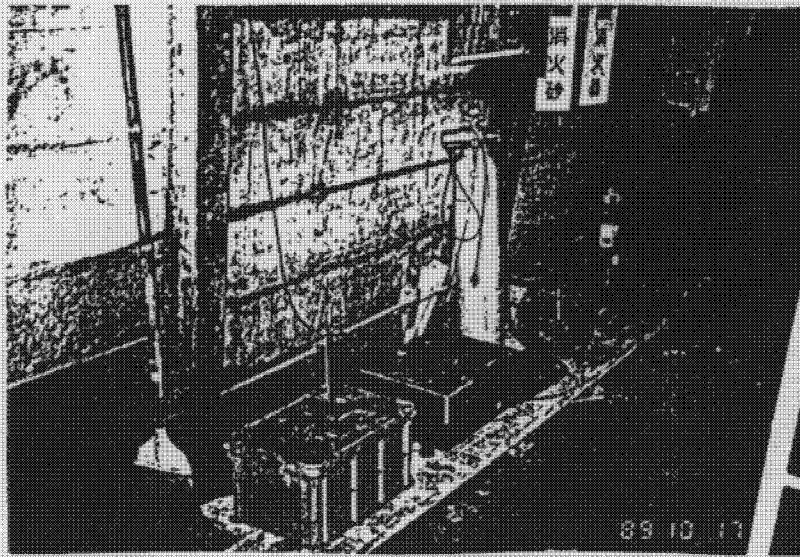


写真-4 坑内からのSF<sub>6</sub>放出

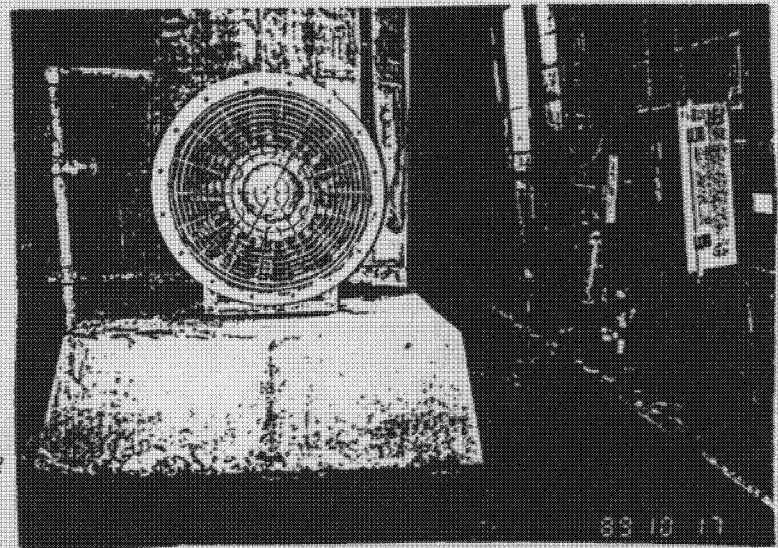


写真-5 通気立坑下部主扇とSF<sub>6</sub>放出装置

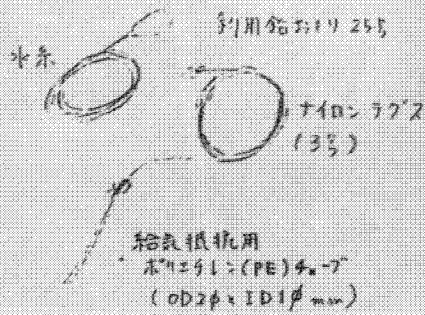


図-4 高測点用サンブラー (拡大図)

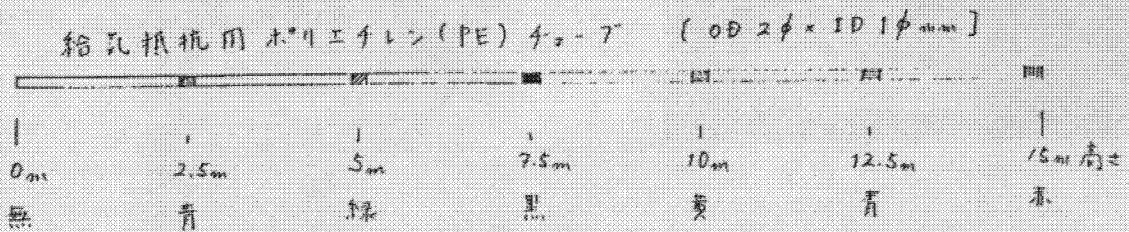


図-5 高測定用サンブラーの測高用マーク



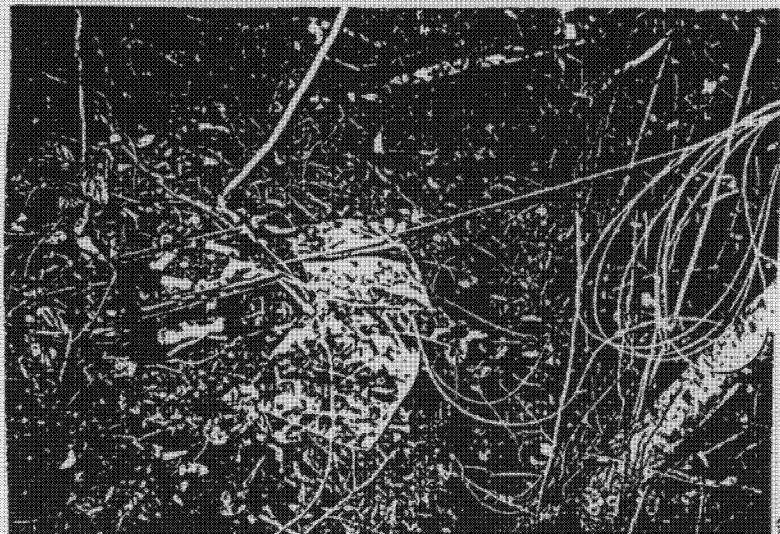


写真-6 SF。拡散大気のサンプリング方法

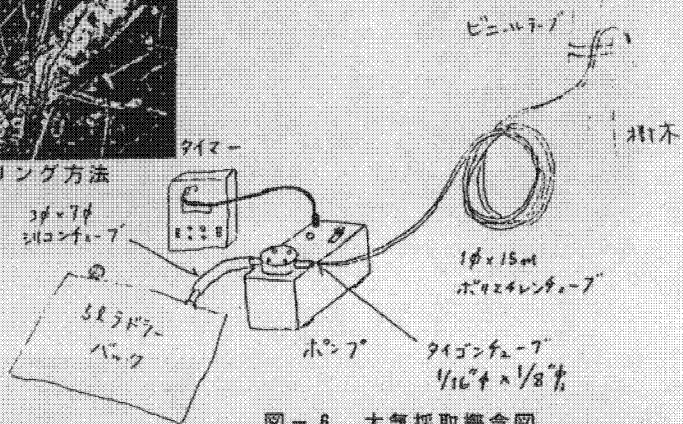


図-6 大気採取概念図

写真-7 発煙筒による煙の観察

H1.10/5 11:13

{ 地上18m S 0.9m/s  
地上 1.5m SE 0.9m/s }

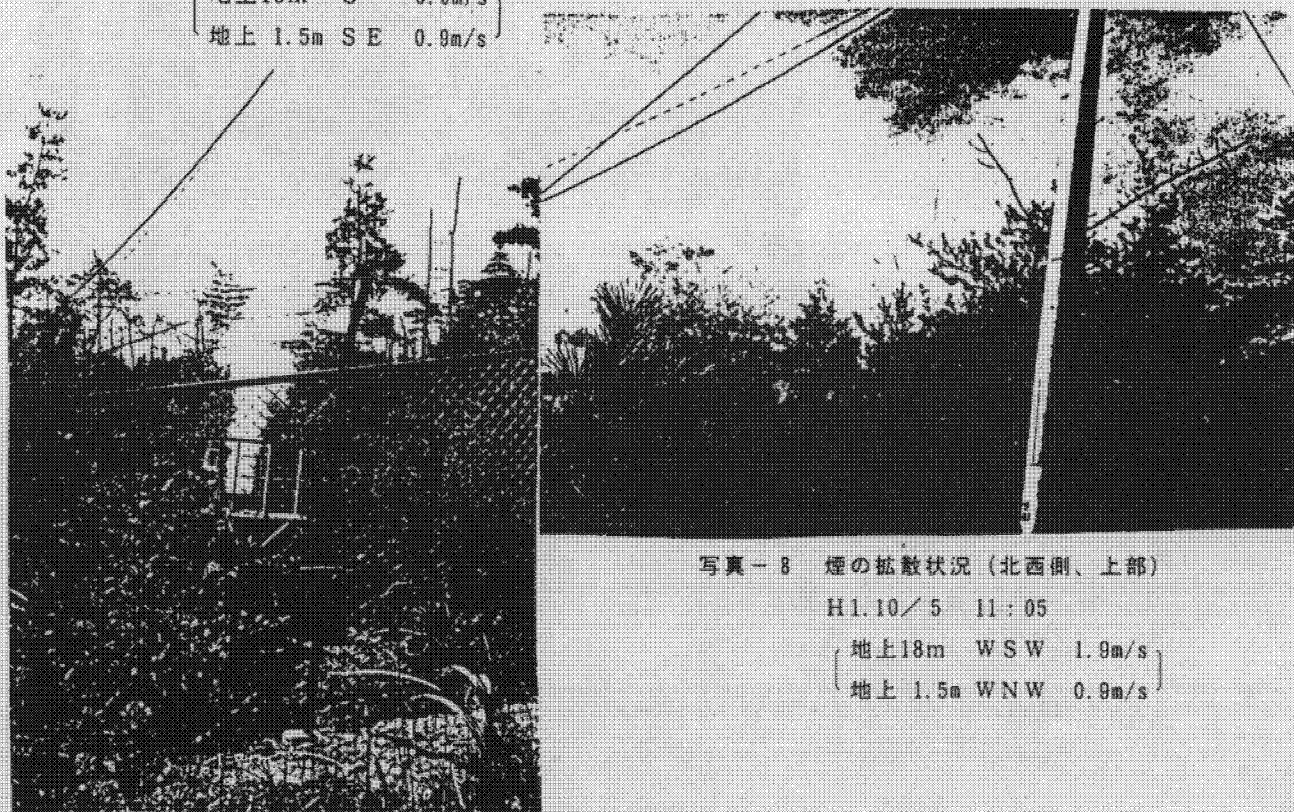


写真-8 煙の拡散状況 (北西側、上部)

H1.10/5 11:05

{ 地上18m WSW 1.9m/s  
地上 1.5m WNW 0.9m/s }

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課  
電話：029-282-1122 (代表)  
ファックス：029-282-7980  
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構  
(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005