

エジプト地震学研究協力

エジプト国地震活動評価のための共同研究プロジェクトに関する技術協力 —ハルガダ地震観測網設営—

中村正夫*・羽田敏夫**・瀬戸憲彦*
橋本信一**・小林 勝**

Cooperative Seismology Study between Egypt and Japan (JICA)

Technical cooperation for a joint study project to evaluate seismic activities in Egypt—Construction of Hurghada seismological network in Egypt—

Masao NAKAMURA*, Toshio HANEDA**, Norihiko SETO*,
Shin'ichi HASHIMOTO** and Masaru KOBAYASHI**

Abstract

This report describes the construction of the Hurghada seismological network as a cooperative study project between Egypt and Japan (JICA). Five members of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, participated in this project. A preliminary investigation for the construction of the seismological network started in December 1989, and the construction was completed in 1994.

The purpose and the background of this project, the preliminary investigations for the construction of the seismic network (three times), the installation of seismic network equipment, temporary observations on the south of the Sinai Peninsula using a Radio-controlled Seismograph System for a preliminary study on the crustal structure and a summary of the Hurghada seismological network are explained in this report.

Key words : Hurghada seismological network, NRIAG, Radio-controlled Seismograph System, ENSN

はじめに

本稿は JICA の事業として行われたエジプトのハルガダ地震観測網設営について記したものであり、地震研究所からは総計 5 名が参加している。この観測網は 1989 年末から予備調査が始まり、ほぼ完成したのは 1994 年である。この報告書は、プロジェクトの目的と背景、この作業の事前準備、実際の観測機器設置、1997 年に行われた臨時地震観

測とハルガダ地震観測網の概要について説明したものである。

エジプトは歴史が古く、過去には被害地震がかなりあったことが知られている。同国における地震観測は 1903 年カイロの南ヘルワン (Helwan) にある現在の国立天文地球物理研究所 (National Research Institute of Astronomy and Geophysics, 略称 NRIAG) でのウィーヘルト地震計による計測が始まりであり、以後ヘルワンは重要観測点として地震観測を行っていたが、国内には特に目立った地震もなく研究活動はほとんど行われていなかったようである。1965 年、R.M. Kebeasy (NRIAG 前所長) がエジプト人留学生として初めて来日、地震研究所宮村撰三研究室で地震学を学び、以後相次いで留学生が来日し、主に建築研究所で研修し帰国後地震研究に従事した。しかし

1998 年 10 月 14 日受付, 1999 年 2 月 26 日受理.

* 東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター和歌山地震観測所.

** 信越地震観測所.

* Wakayama Seismological Observatory, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

** Shin'etsu Seismological Observatory, Earthquake Observation Center.

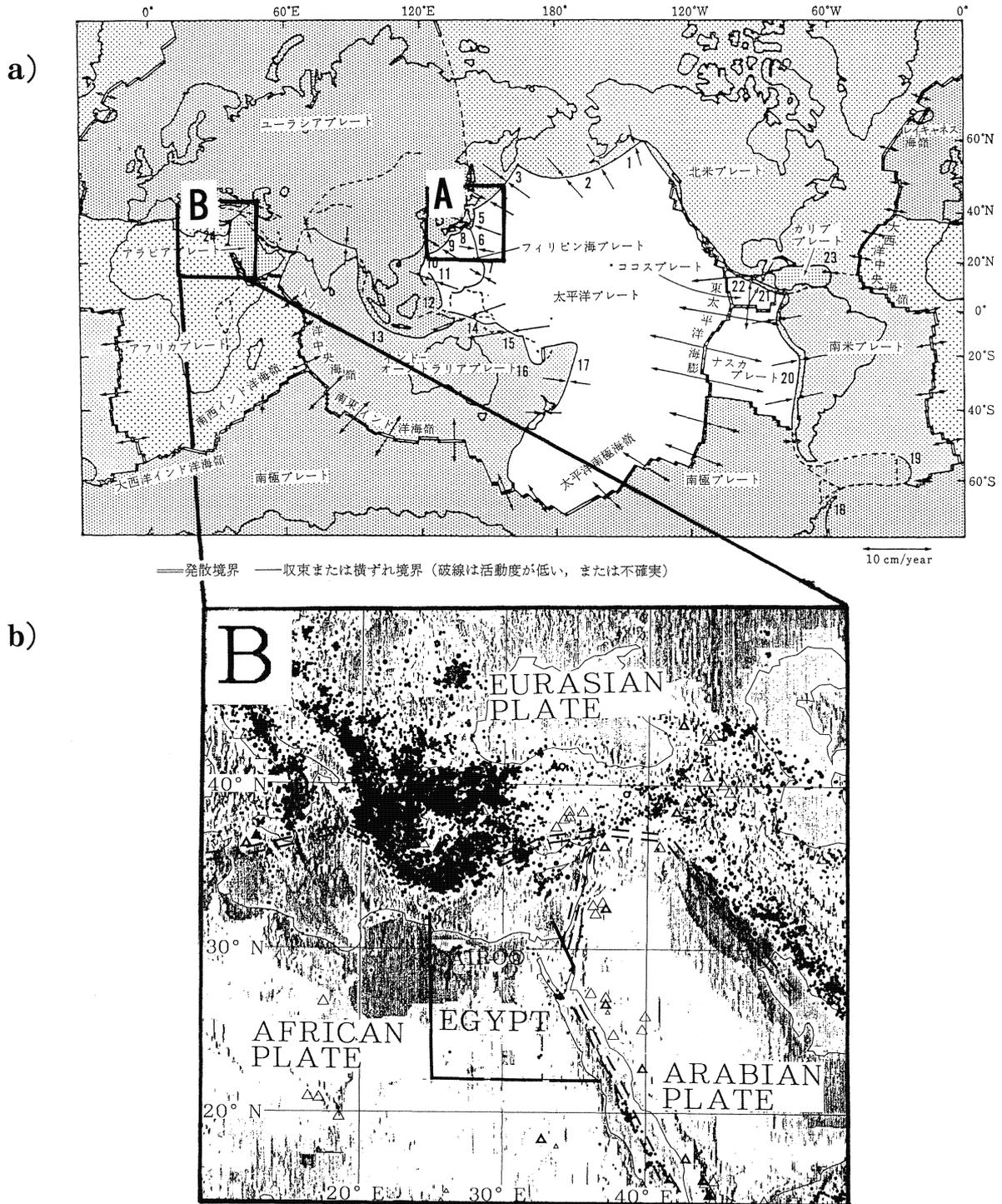


図 1. a) 日本付近 (A 地域), エジプト付近 (B 地域) と世界の主なプレートとプレート境界 (変動帯) の分布の位置関係.

(宇津徳治編, 「地震の辞典」に加筆)

b) エジプト近傍地域の地震分布とプレート境界.

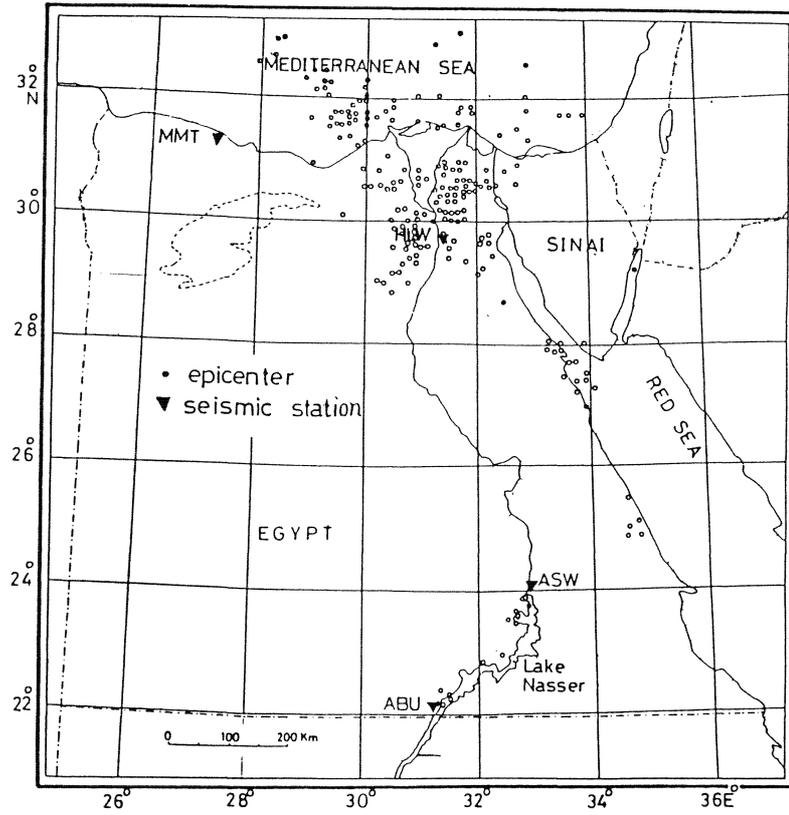
(World map of volcanoes, earthquakes and plate tectonics. Compiled by Tom Sinkin etc., 1989)

観測網の整備は進まず, 地震活動も比較的低かったこともあり, 活動の詳細についてはほとんど知られていなかった.

1982年, アスワン付近に M5.5 の地震が発生し, ナセル

湖の堤防などに被害が生じたことで俄然注目を集めた. 同国政府は急遽研究援助を要請し, アメリカ合衆国によりアスワン・テレメータ観測網が設置され, 微小地震を含めた研究が進められた. またこの被害地震発生を機に, エジブ

a)



b)

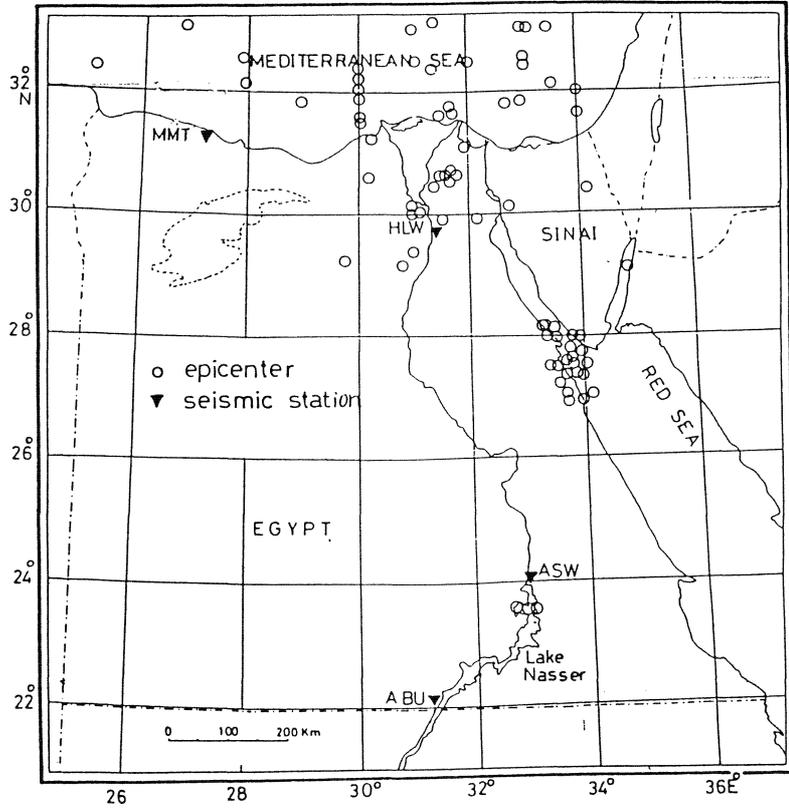


図 2. 近年 (主に 1980-1989 年) のエジプト付近の震央分布 (Kebeasy, R. M., 1990).
a) 微小地震 b) 小地震.

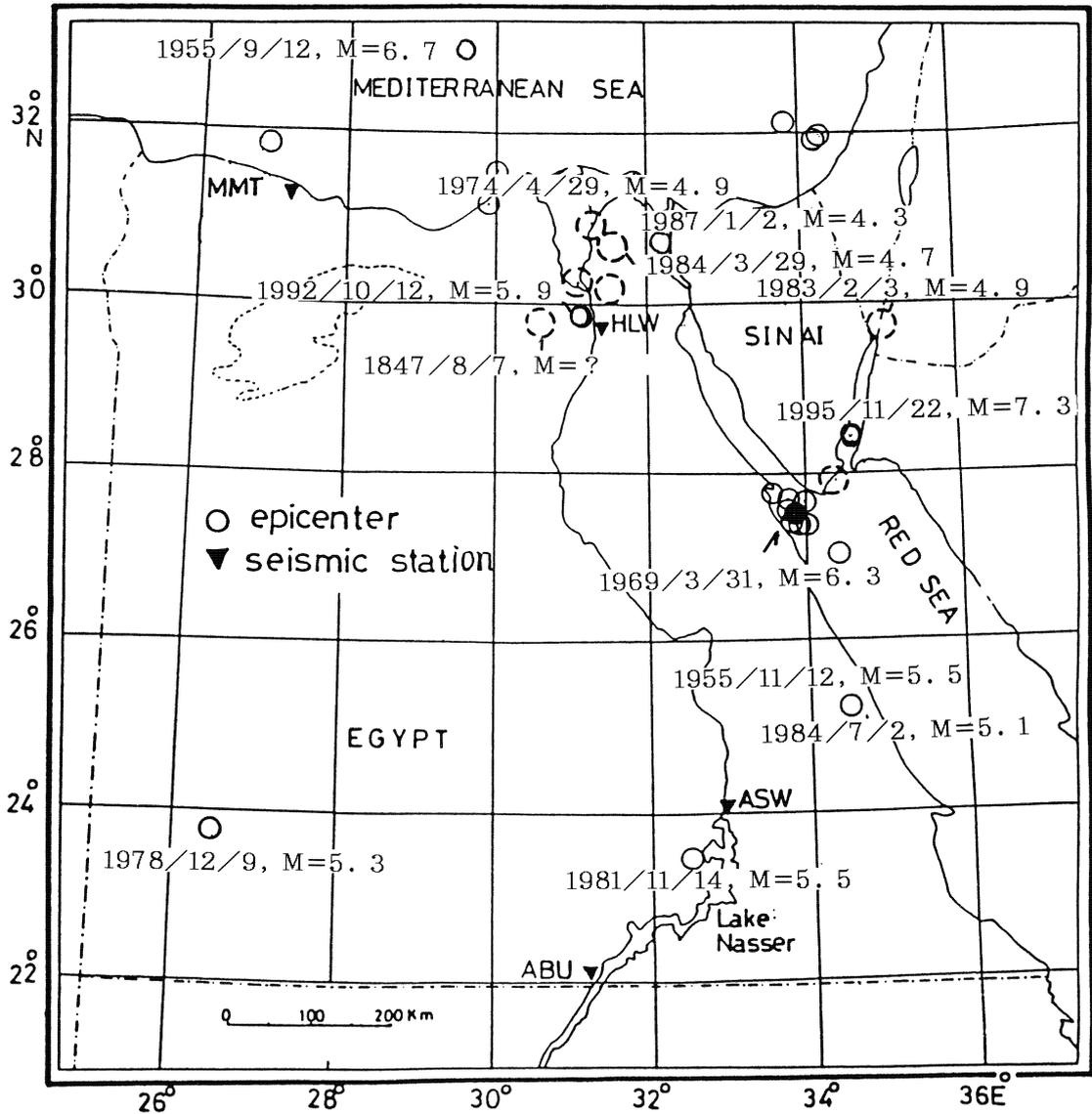


図 3. 近代の歴史地震と近年に起こった規模の大きな地震の分布図 (Kebeasy, R. M., 1990). 主な地震の発生日月日を加筆.

トでは翌 1983 年から 2 年毎に周辺のアラブ・アフリカ諸国の地震研究者・技術者を対象としたセミナーを開催し、1987 年の第 3 回セミナー開催に先だって日本政府に対してセミナーへの援助を要請した。日本政府はこれに応え、東京大学地震研究所の溝上恵教授を団長とする JICA 専門家チームを同国に派遣した。

以後、1988 年 5 月と 1989 年 2 月に同団長のもと、JICA 専門家チームの派遣が行われた。これらの調査では過去の地震資料の検討と各地の視察が行われた。その結果、エジプトにおける地震活動に関して幾つかの重要地域を限定し、この地域に観測網を構築する際に問題となる観測環境の調査の必要性が指摘された。エジプトはこれを受け、具体的な援助を日本に要請し、日本政府もエジプト国内における地震観測網の構築と共同研究に協力することになっ

た。以後、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所、建設省建築研究所、名古屋大学理学部が協力し、職員が JICA 専門家として派遣され、研究に従事することになった。

共同研究の主目的は「プレート会合地域における地震活動の特性と地球物理学的な意義の解明」とされた。これは当該地が日本近傍と同様にプレート会合地域（ユーラシア、アフリカ、アラビアの 3 プレート）に当たり、しかもプレート運動のパターンが異なる（集合部と離散部）ことから研究資料は相補的な関係にあることが重要と考えられたためである（図 1a）。特にエジプトでは、近年国内の都市整備上地震災害のことを考慮せねばならず、基礎となる地震活動の調査研究を必要とし、観測網の設置協力を日本に求めていた。これに応え JICA は技術協力を行うことを決

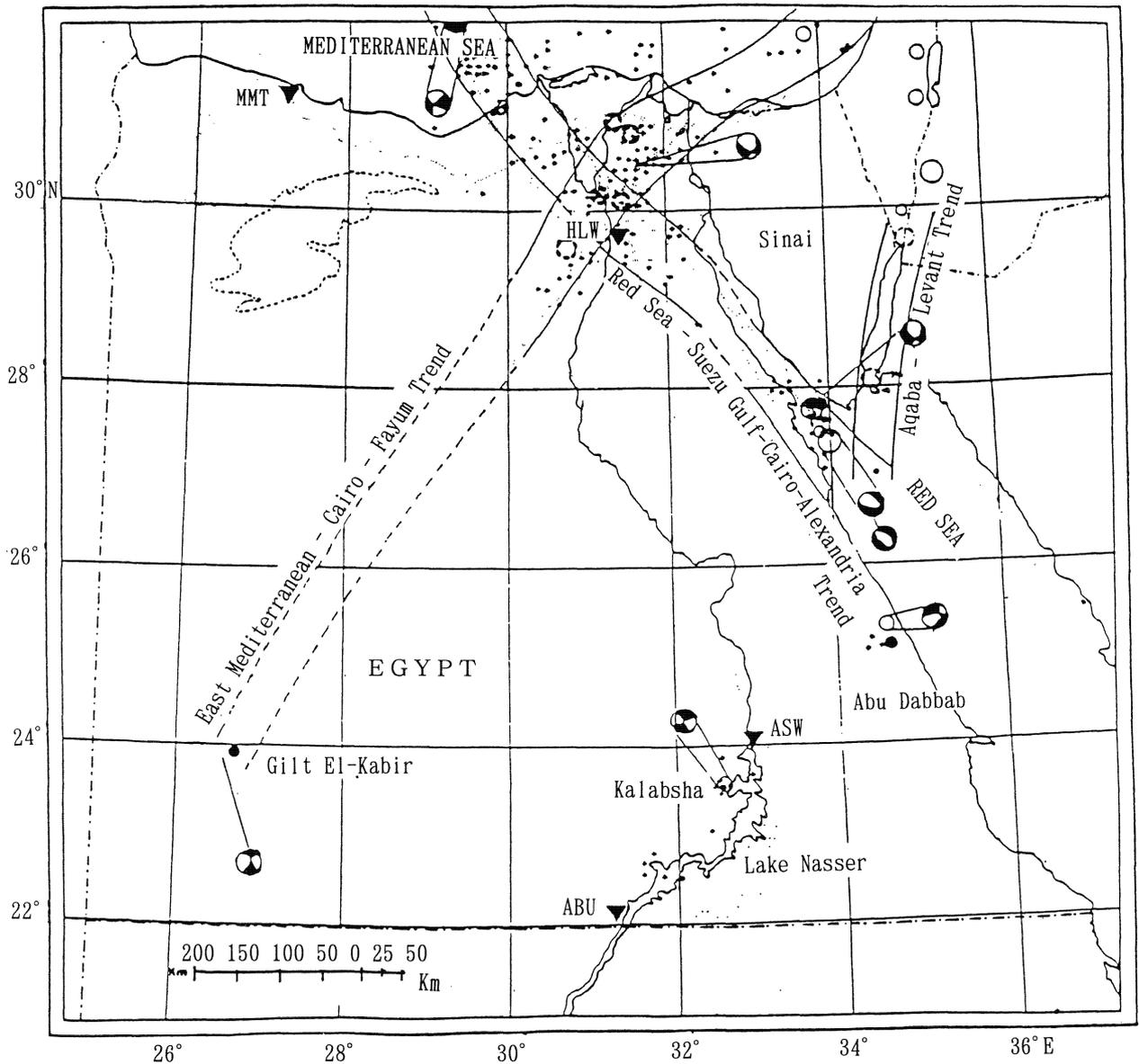


図 4. 主な地質構造と地震活動の関係 (Kebeasy, R. M., 1990).

め、同国での予備調査を始めることになった。

地中海東部一帯では3つのプレートが会合しており、地震活動が極めて活発な地域にあたる。しかし地域性が顕著であり、地中海の北部一帯に比べるとエジプト国内の地震活動度は比較的低い(図1b)。紅海、シナイ半島近傍およびナイル川流域には規模の大きな地震も発生している。近年の報告(図2, Kebeasy, R.M., 1990)では、ナイル川下流域一帯、ナセル湖近傍およびシナイ半島周辺が主な活動地域である。しかし、エジプト国内の実稼働観測点は13点のテレメータ集中観測網があるアスワン付近を除くと数点しかなく、微小な地震の把握や震源精度にも問題が残されている。一方、過去の被害地震については国の歴史が十分長

いためかなりの報告例があり(図3, Kebeasy, R.M., 1990)、近年でもカイロ近傍、紅海北部、ナセル湖付近に発生した地震が知られている。特に紅海-スエズ湾-カイロ-アレキサンドリアを結ぶ地溝帯は地質的活動帯として注目されている(図4, Kebeasy, R.M., 1990)。以上を総合すると、観測網が極めて少なく、一部アスワン付近を除くと震源精度は不十分であるため、予備調査では先ずいくつかの地域で高感度観測による地震活動調査を行うことと観測網を構築するための環境調査を行うこととした。図5は、最終的に観測網を展開することに決定した紅海南部とシナイ半島南部の衛星写真である。

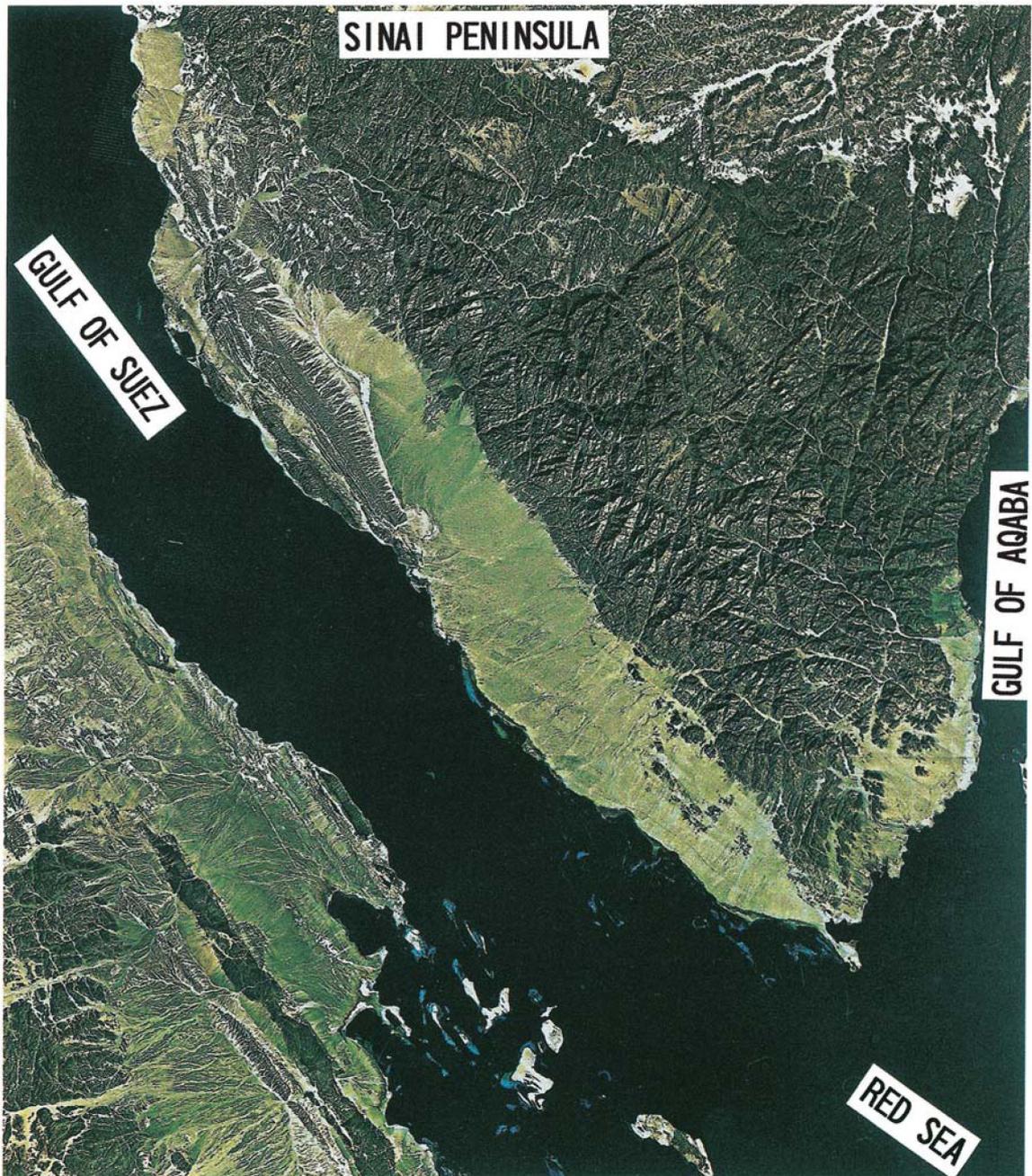


図 5. シナイ半島南部の衛星写真。
 ハルガダ地震観測網はこの地域に展開された。
 (Sinai & Saint Catherine : Farid Atiya より転載)

日本およびエジプト国における プロジェクトの推進体制

地震研究所が参加した調査および建設は以下の①～⑦項目であるが、⑤はテレメータ機器のメーカー（明星電気）が各観測点の設置を行い、同時に短期専門家2名によって集中局の収録装置の設置と技術指導が行われた。これとは別に、1994年以降、計3回のGPS（汎地球測位システム）による地殻変動観測が名古屋大学の木股文昭らによって行

われた。GPS観測開始後まもなく1995年11月22日にアカバ湾でM7.0の地震が起こり、貴重なデータとなった。

以下に研究協力の内容と従事した日本側調査団スタッフ、従事期間を列挙する。

- ① エジプト国地震観測網設置のための第1回予備調査（シナイ半島南部およびコッタマイアを中心とする地域の無線による観測網設置のための予備調査：1989年11月28日～1990年2月22日）

安藤雅孝（京都大学防災研究所）（1989年12月5

- 日帰国)
 宇都宮啓史 (建設省建築研究所) (同)
 中村正夫 (地震研究所和歌山地震観測所)
 羽田敏夫 (地震研究所信越地震観測所)
- ② エジプト国地震観測網設置のための第2回予備調査 (エジプト側との研究協力協定書 R/D (The Record of Discussion) 締結及び地震観測網構築のための事前調査: 1993年1月18日~1月31日)
 蔵 真人 (建設省住宅局)
 古川信夫 (建設省建築研究所国際地震工学部)
 瀬戸憲彦 (地震研究所和歌山地震観測所)
 西上欽也 (京都大学防災研究所)
 熊谷真人 (国際協力事業団: JICA)
 井上 公 (建設省建築研究所国際地震工学部)
- ③ エジプト国地震観測網設置のための第3回予備調査 (ハルガダ観測網構築のための再調査: 1993年8月26日~9月4日)
 古川信雄 (建設省建築研究所)
 林 和昭 (国際協力事業団: JICA)
 中村正夫 (地震研究所和歌山地震観測所)
 現地参加
 横山 泉 (JICA 長期派遣研究員, 北海道大学名誉教授) (滞在期間: 1993年7月8日~1994年7月7日)
 事前調査
 村上寛史 (JICA 短期派遣研究員, 現在有限会社地震観測技術センター) (滞在期間: 1993年3月8日~5月6日)
- ④ 第1回ハルガダ地震観測網建設 (1994年4月9日~6月2日)
 瀬戸憲彦 (地震研究所和歌山地震観測所)
 橋本信一 (地震研究所信越地震観測所)
 小林 勝 (地震研究所信越地震観測所) (1994年4月28日帰国)
 現地参加
 横山 泉 (JICA 長期派遣研究員, 北海道大学名誉教授) (滞在期間: 前出)
 村上寛史 (JICA 長期派遣研究員, 現在有限会社地震観測技術センター) (滞在期間: 1994年6月29日~1996年6月28日)
- ⑤ 第2回ハルガダ地震観測網建設 (1994年7月1日~7月31日)
 杉山志行 他 明星電気株式会社守屋工場7名
- ⑥ 第3回ハルガダ地震観測網建設 (1995年4月3日~4月27日)
 古川信雄 (建設省建築研究所)
- 羽田敏夫 (地震研究所信越地震観測所)
 大倉敬宏 (京都大学防災研究所)
 杉山志行 (明星電気株式会社) (1995年4月8日より参加)
- ⑦ シナイ半島南部における無線による同時多点観測システムの演習と自然地震による地殻構造の推定 (1997年4月4日~5月3日)
 瀬戸憲彦 (地震研究所和歌山地震観測所)
 小泉 誠 (京都大学防災研究所地震予知研究センター)
 現地参加
 藤井陽一郎 (JICA 長期派遣研究員, 茨城大学名誉教授) (滞在期間: 1996年8月1日~1997年7月31日)
 エジプト側は NRIAG の地震学部門が担当した。これまでの担当者以下に記す。なお、多くの研究者、技術者が日本で研修を受けている。
 Dr. R.M. Kebeasy (ケベシー) [地震学, 前 NRIAG 所長, 1965~1969年日本で研修, 1998年現在オーストリア・ビエンナーレの国際軍備縮小センター (International Data Center for Disarmament) に外国出張勤務中。]
 Dr. Ezzelddin Mohamed Ibrahim (イブラヒム) (地震学教授, 本計画担当責任者, 1967~68, 1979, 1983, 1984年日本で研修)
 Dr. Ramses. Nashed. H. Albert (アルバート) (地震学教授, 初期調査時の責任者, 1971~1972年日本で研修)
 Dr. Mohamed Maamoun Elsaid (マムーン) (地震学, 前責任者, 外国出張勤務中)
 Dr. Mohamed Mahmoud Dessoky (デソーキー) (地震学, 1969~1970, 1985年日本で研修)
 Dr. Imam Abdel-Monem Marzouk (マルズーク) (地震学, 実質的な作業担当, 1976~1977, 1989, 1993年日本で研修)
 Mr. Abdel Samed Megahed (メガヘド) (地震学, 実質的な作業担当者, 1972~1973, 1988年日本で研修)
 Dr. Hisham Hussein Mousa (ヘシャム) (地震学, 1998年より茨城大在籍中)
 Dr. Awad Hassoup (ハスूप) (地震学, 1984~1985, 1992~1994年日本で研修)
 Mr. Salah El Hadidy (サラ) (地震学, 1992~1993年日本で研修)
 Mr. Mamdouh Abbas (マンドウー) (地震学, 1988~1989年 日本で研修)
 Dr. Hesham Hussein (フセイン) (地震学, 1998年日本で研修)

Dr. Ali Kamel Abdel Fattak (アリ) (地震学, 1998年日本で研修)

Mr. Ali Shaaban Ahamad Mohamed (アリ) (地震学, 1996年日本で研修)

Mr. Hesham Fatehy Mohamed (ヘシャム) (地震学)

Mr. Reda Abdel Fattah Mohamed (レダ) (地震学)

Mr. Arabi Elsayed Ibrahim (アラビ) (技術者, 1993年, 1995年日本で研修)

Mr. Moustafa Hemeda Moustafa (ムスタファ) (技術者, 1994年日本で研修)

Mr. Fakhr El-Din Abd-Elmoniem Fakhr El-Din Hassan (ファッカル) (技術者, 1995年日本で研修)

その他, 運転手6~7名が参加した。特に技術者3名は各年度ごとに順次日本での研修を受けた。受け入れは京都大学防災研究所及び東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター和歌山地震観測所が対応した。

エジプトにおける地震観測網の事前調査 および建設の概要

1. 第1回予備調査

(シナイ半島南部およびコッタマイアを中心とする地域の地震観測網設置のための予備調査)

1989年11月28日から1990年2月22日までの約3ヶ月間, エジプト国内に地震観測網を設置するための予備調査を行った。調査目的は地震の活動状況と地震観測網設置の環境条件を探ることにあつた。日本側からは4名が参加, 内2名は当初の打ち合わせと講演を終え12月5日帰国し, 観測調査には2名が従事した。前回までの派遣専門家による調査は主にエジプト側の観測資料に拠るもので, 重点地域として(1)アレキサンドリアを中心とする地中海沿岸, (2)カイロ・スエズ運河周辺, (3)シナイ半島, (4)アブダバ(紅海)-アスワン周辺の4地域が指摘されていた。

この報告に基づき各地域の地震活動度を吟味し, 将来恒久的な地震観測網を設置する判断資料を得ることに重点をおいて調査の計画を立てた。このため, 前回までは行われなかった地震活動調査及び無線回線テストを主な項目とした。この際, (4)のアスワン地域はすでにアメリカ合衆国によって無線テレメータ観測網が設置されているため資料の検討にとどめた。また, (1)(2)については地域が比較的近いためまとめて検討することにした。全体の調査地域を図6に, 観測地点及び測線を図7, 8に, 受け入れ機関のNRIAGを図9に示す。

無線回線のテストは以下の1-a)~c)の地域について行った。同時にそれぞれの拠点で長時間レコーダーによる地震観測を実施した。各観測拠点での観測期間を表1に示す。

1-a) ヘルワン地域での観測と無線機作動テスト

ヘルワンのNRIAG近傍において, 無線テレメータ2対向(FM-FM)方式を使用し, それぞれ1km, 4kmの距離で無線機動作テストを兼ねた地震観測を実施した。保安上の問題から無人観測ができないため, 観測は昼間だけとした。期間中の記録は近傍での碎石発破のみであった。

1-b) カイロ, スエズ, イスマリア域での調査

コッタマイア観測所(NRIAG附属施設, 図7, C点)を拠点として, 周辺から7対向の無線回線テストを実施した。カイロとスエズの間付近にあるこの観測所は砂漠の中に位置し, 周囲360°展望のできる小高い丘陵地に建っている。既設の地震観測点にはMEQ-800インク書きレコーダーが1台動いているだけであった。天文観測が主で, 大型天体望遠鏡設備が整っていたが修理中で作動していなかった。電力は自家発電で, 通常夜間のみ稼働であったが, 今回の地震観測期間中は昼夜連続運転を行った。

同時に, 当観測所で約2週間にわたって長時間レコーダーによる連続地震観測を行った。観測期間中, シアドワン島付近でやや大きな地震があり, 300km以上離れているこの観測所でも地震波を記録した。近傍の地震と思われる記録も見られたが, 付近には軍の演習場や採石場もあり, 用意した観測機材や短期間の観測からは発破と自然地震との区別は難しかった。

1-c) シナイ半島中南部および紅海北端を囲む沿岸域での調査

シナイ半島中南部の聖地セント・カテリーナ周辺で, スエズカナル大学施設付近を拠点とした無線回線テストを実施した。図8の回線1(25km)および回線2(17km)について良好な結果を得た。また並行してセント・カテリーナにあるスエズカナル大学環境・地質学研究施設内の1室を借り, 長時間レコーダーによる地震観測を行った。たびたびの停電で連続した記録は取れなかったが, S-P時間が10~20秒程度の地震が期間中50個程記録された。これらの地震は, アカバ湾北部或いはシナイ半島南部のシアドワン島付近を震源とする活動と推定された。

シナイ半島南端のリゾート地シャメルシェイクへ移動して, 周辺(図8のM-N)と対岸のハルガダ(図8の4~6の回線)間の無線回線テストを実施した。これらはスエズ湾を挟む海上伝播を含む回線であったが, 送受信点とも150~200mと高度を確保できたため, 良好な結果を得た。なお, この回線テストは連絡用無線機が無かったため, あらかじめ地点と時間を決めてテストを行った。無線回線のテスト記録例を図10に示す。

NRIAG所属のハルガダ地震観測点は, 市街地から5km程入った砂漠の中に小さな小屋が建てられ, MEQ-800インク書きレコーダーが1台設置されていた。地震計の設置場所には岩が無い砂漠に深く埋設されていたが, 比較的良好なS/Nの良い記録であった。この付近はシアドワン島周

辺部に活発な地震活動があり、重要な観測点である。

地震はいずれも紅海北部シャドワン島周辺での地震活動と見られる。無線回線のテストとは別に、シャメルシェイクにあるスエズカナル大学海洋研究施設を宿泊地とし、同施設に長時間レコーダーを置き、近くの露岩上に地震計を置いて地震観測を行った。また、施設の北東約 10 km 付近の岩山に別の地震計を設置し、無線テレメータで施設まで送り並行観測した。短期間の観測だったが、S-P 時間約 10 秒の地震が記録された。紅海北部のシャドワン島付近の地震と思われる。地震記録例を図 11, 12 に示す。図 13~17 は観測拠点となった建物や、現地での観測及び打ち合わせ風景である。

1-d) まとめ

予備調査の結果を以下に示す。

① 各観測網候補地にて無線回線のテストを行い、地震

観測点としての環境および無線回線の可否について確認した。

- ② 電力事情が悪いので観測点の電源は太陽電池利用が必須条件である。
- ③ 灼熱の砂漠に放置するテレメータ機器類の耐熱、防塵対策が必要である。
- ④ 観測網設置地域としては、地震活動が活発な紅海北端地域、すなわちシナイ半島西南端と対岸のハルガダ周辺に展開するのが最適である。
- ⑤ 砂漠走行には悪路に強く故障の少ない強靱な 4 輪駆動車が必要である。
- ⑥ 緊急時の連絡や観測機器の動作確認には携帯もしくは車載の強力な連絡用無線機が必携品である。
- ⑦ 地図が無い砂漠の地でも容易に位置が決められる GPS が必要である。

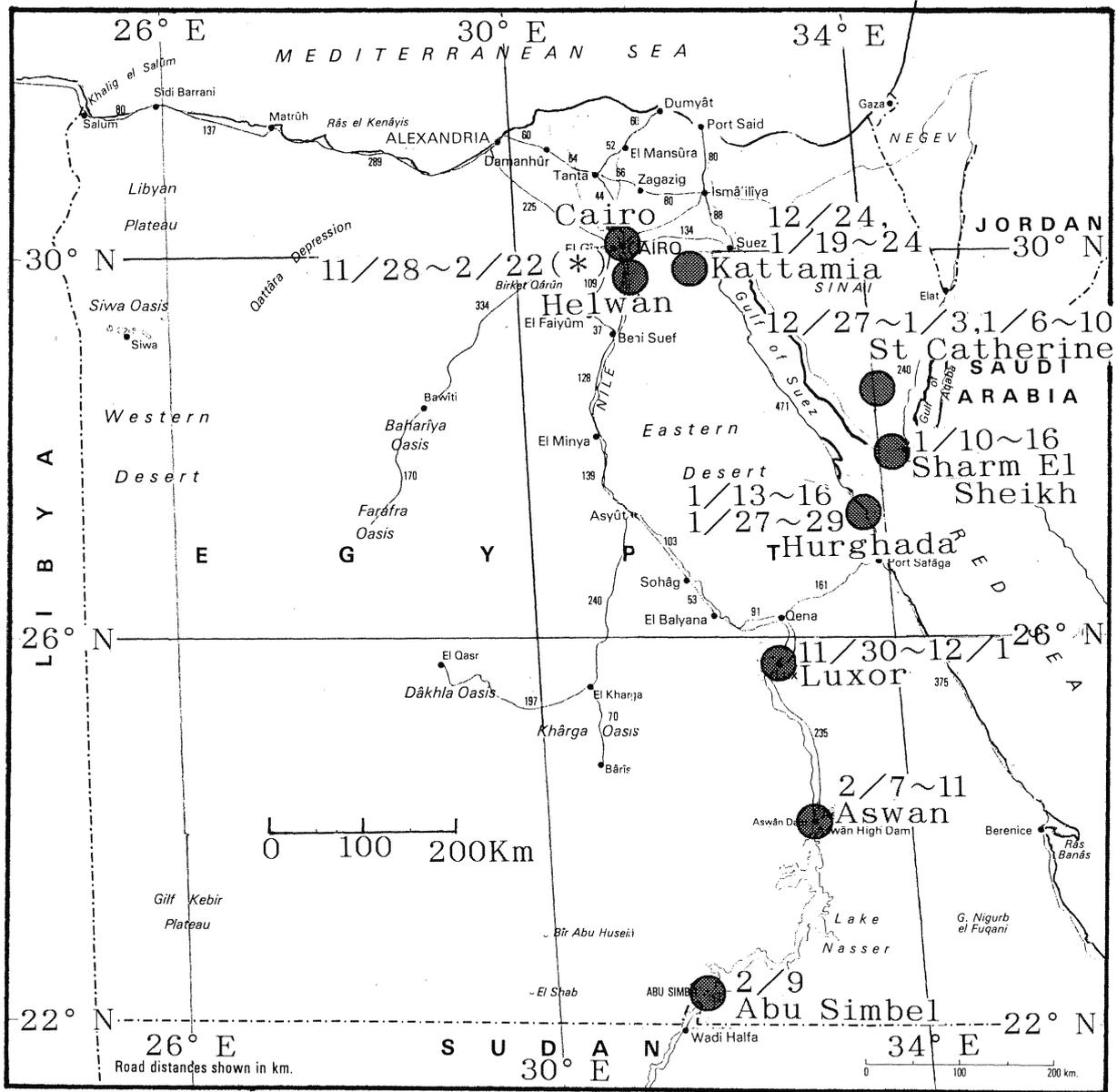


図 6. 地震観測およびテレメータ観測のための回線テストをした地域と調査期間.

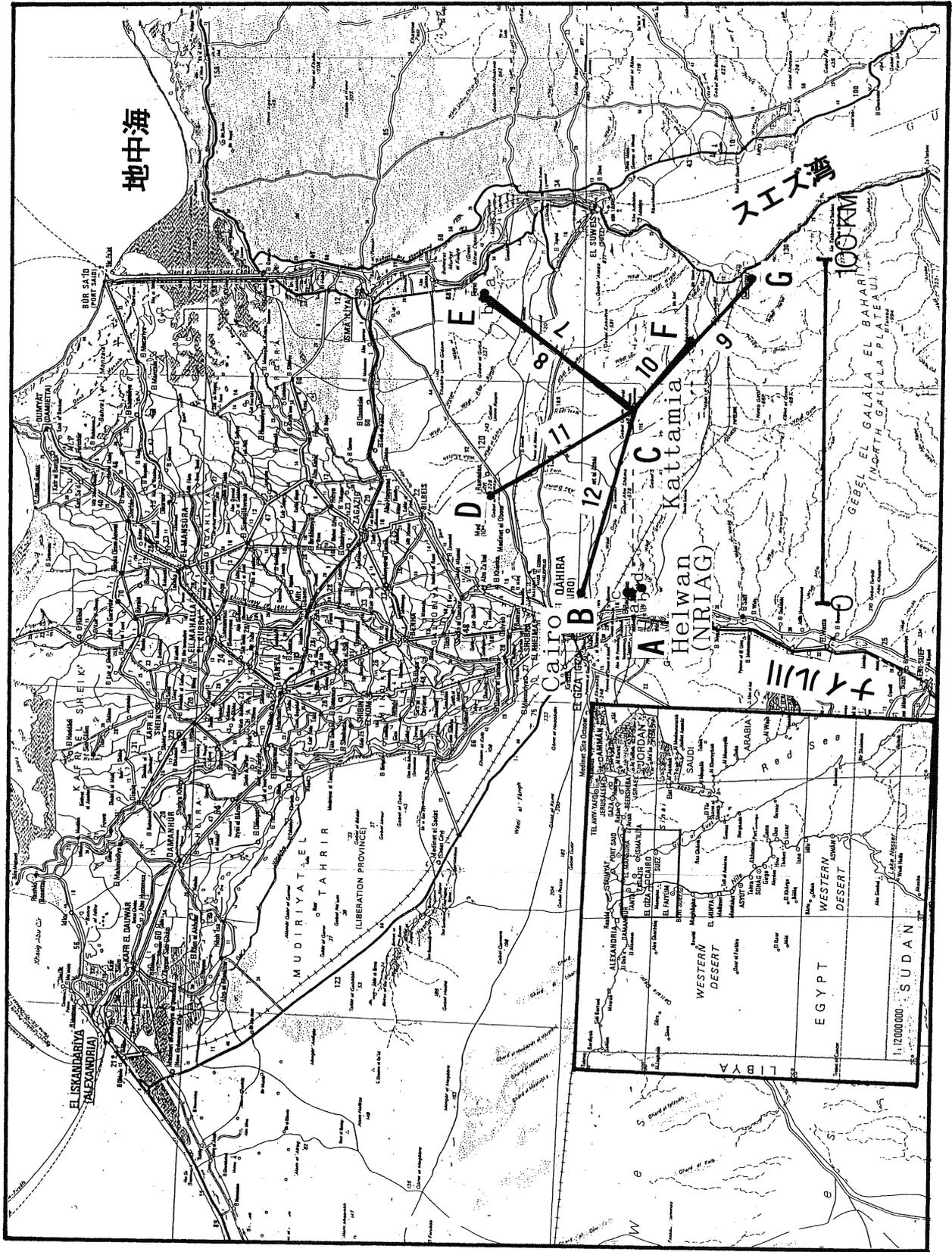


図 7. コッタマイア観測所を中心とした無線によるテレメータ網の回線テスト測線。

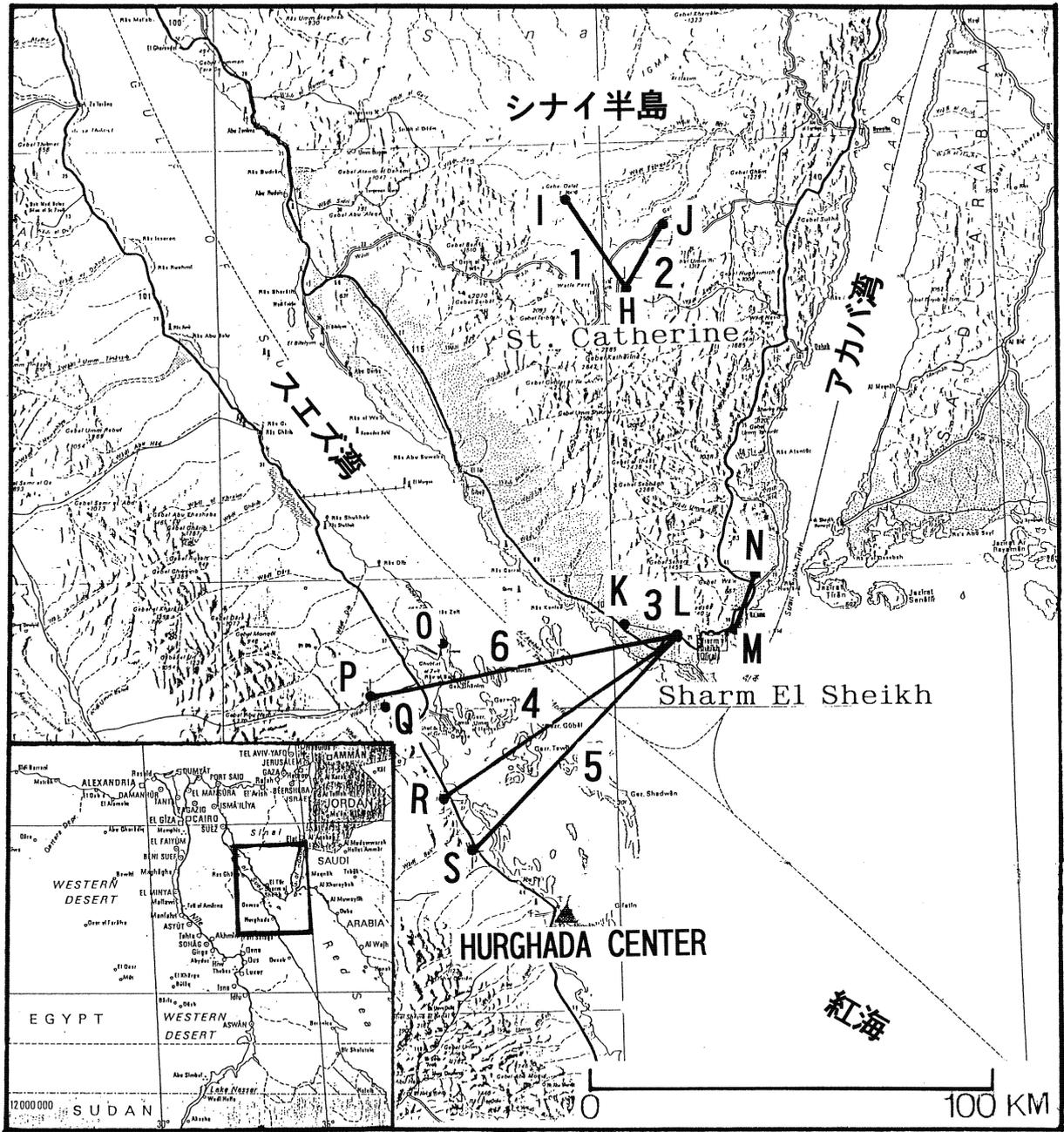


図 8. スエズ湾をはさんだ無線によるテレメータ網の回線テスト測線。



図 9. ヘルワンの国立天文地球物理研究所 (NRIAG).
(この建物の地下に地震計室がある)

表 1. 各観測拠点での地震観測期間.

観測場所	観測期間
HELWAN (ヘルワン 天文・地球物理研究所内)	1989/ 12/18 09h04m - 1989/ 12/27 08h00m (約 9 日間)
ST. CATHERINE (スエズカナル大学環境・地質学研究施設内)	1989/ 12/29 11h34m - 1990/ 01/10 08h30m (約 12 日間)
SHARM EL SHEIKH (スエズカナル大学海洋研究施設内)	1990/ 01/11 07h48m - 1990/ 01/16 10h00m (約 5 日間)
KATAMIA (ヘルワン研究所付属コッタマイア観測所内)	1990/ 01/20 09h30m - 1990/ 02/05 11h30m (約 16 日間)

TEST STATION NAME

SENDER SITE: Hurghada(S) → RECEIVER SITE: Sharm el Sheikh

DATE: Jan. 14 1990

TIME: From 15h:00 ~ 15h:20

TEST METHOD

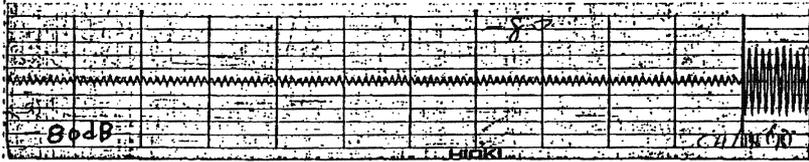
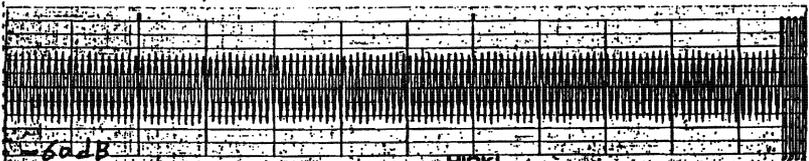
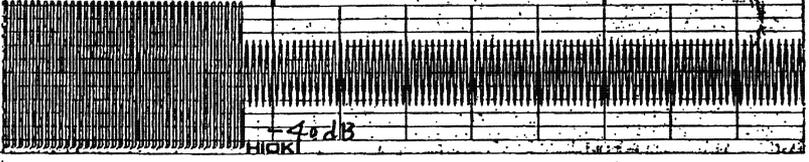
SENDER: ($h = 200m$) Pre-Amp. 60dB OSC. 1V/p-p(10Hz)	RECEIVER:
ATT. -100dB	Recorder Pre-Amp. 0.5 v/cm Main-Amp. / V ATT: x /
	
-80dB	Pre-Amp. 0.5 v/cm Main-Amp. / V ATT: x /
	
-60dB	Pre-Amp. / v/cm Main-Amp. / V ATT: x /
	
-40dB	Pre-Amp. 2 v/cm Main-Amp. / V ATT: x /
	
reference	Pre-Amp. v/cm Main-Amp. V ATT:

図 10. ハルガダ側 S 点—シャメルシェイク間の無線回線テスト記録。
 入力 (10Hz 1V/p-p) アッテネータを切り替えながら受信側でレコーダの記録波形を確認した。図 8 の L 点で収録。

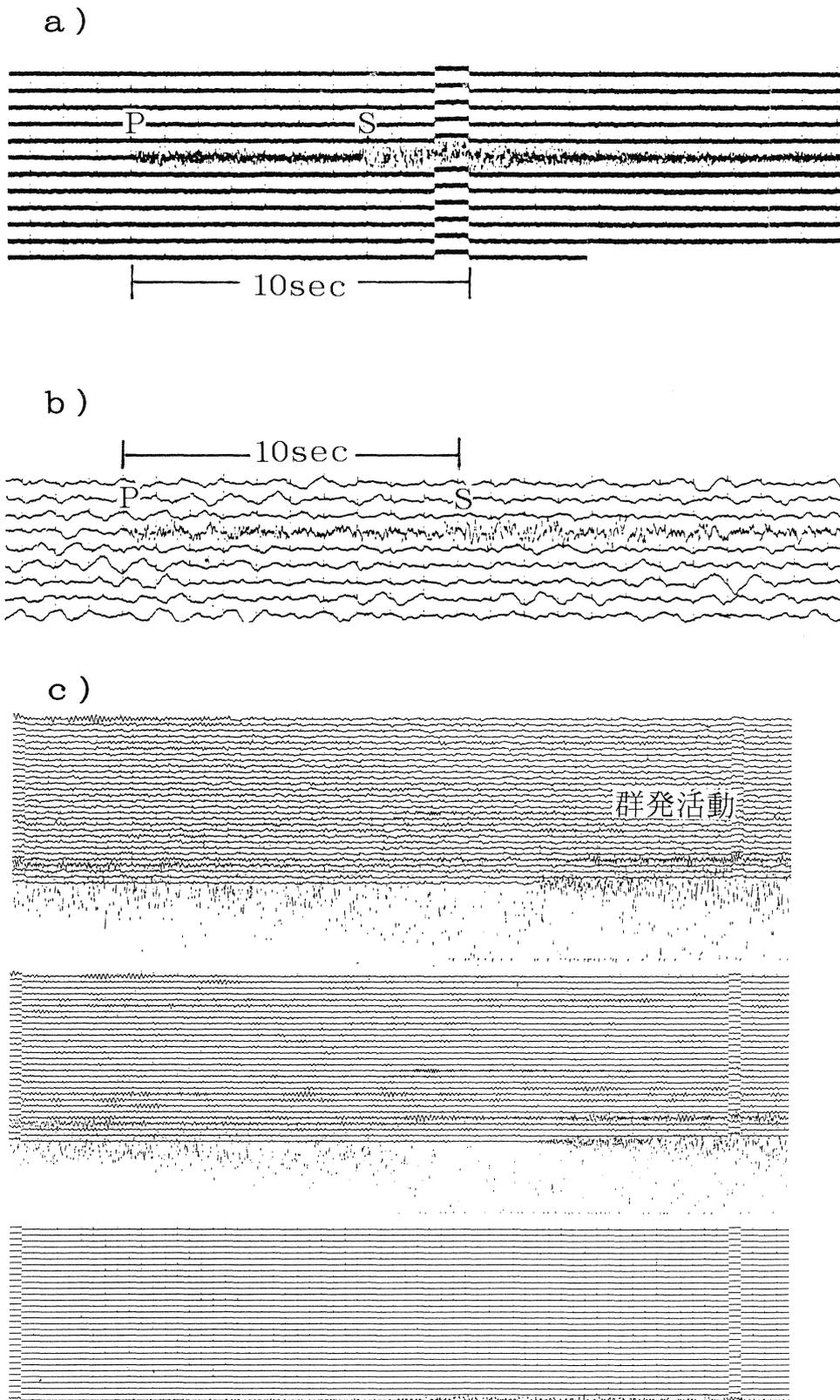


図 11. 紅海北部, スエズ湾口付近の地震の記録例.
 a) セント・カテリーナ, b) シャメルシェイク, c) コッタマイア.

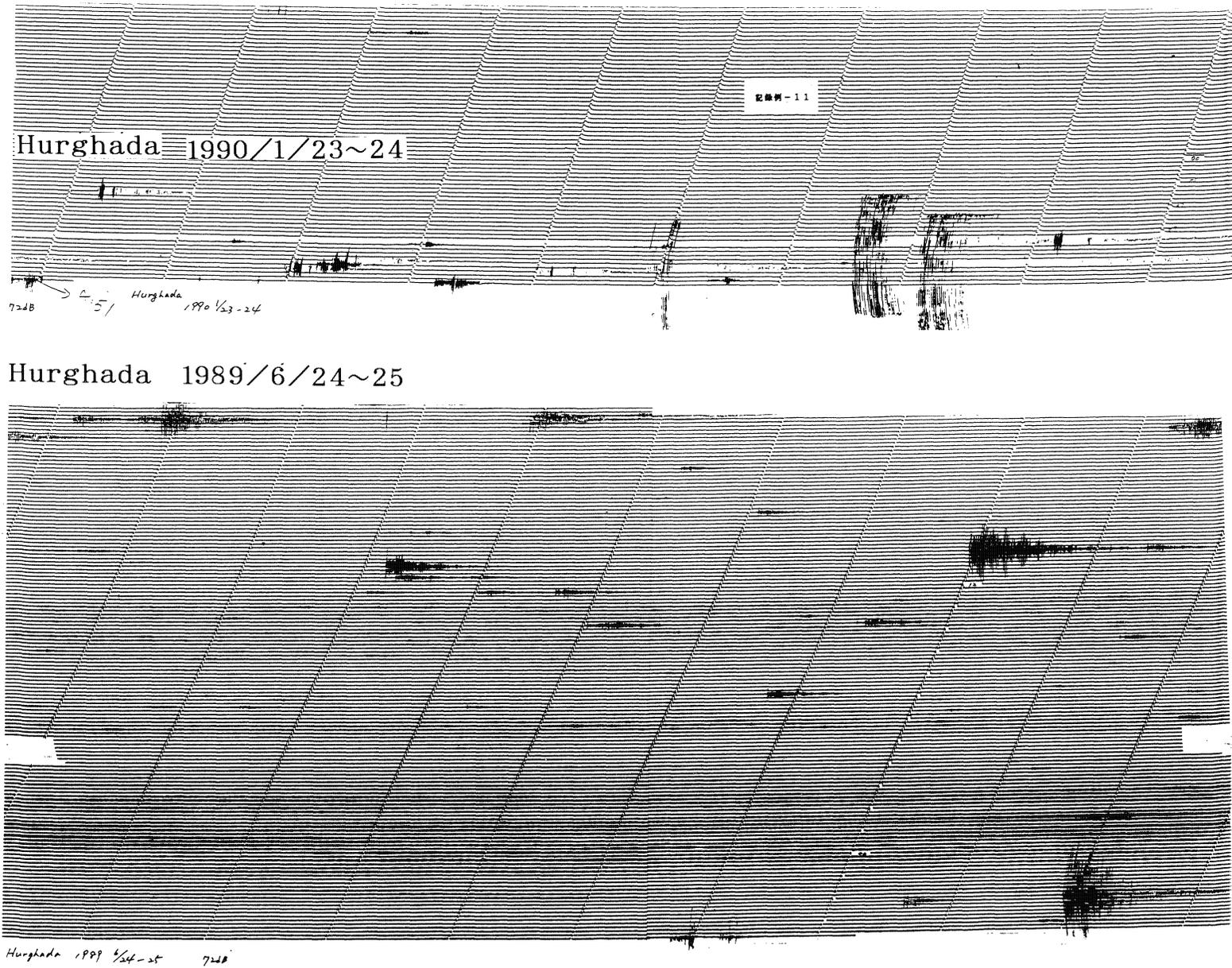


図 12. ハルガダにおける MEQ-800 記録計での地震記録例。
(紅海北部での群発地震活動)



図 13. NRIAG 付属コッタマイア観測所。
屋上にアンテナを立ててテスト観測を行う（図 7 の C 点）。



図 14. セント・カテリーナでのテスト風景。
車を降りて 30~40 分登ったところ（図 8 の J 点）。

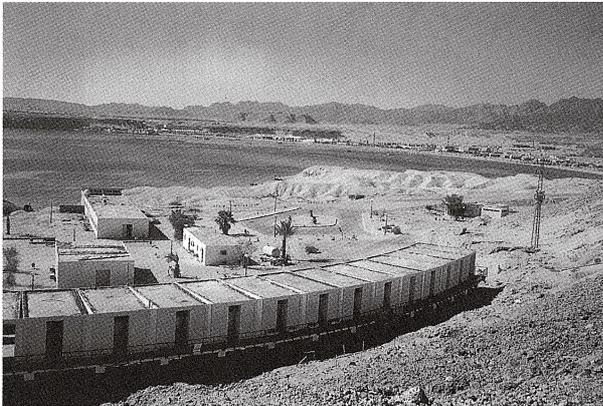


図 15. シャメルシェイクの観測拠点となったスエズカナル
大学の海洋研究施設。現在は取り壊されホテルが建っている
（図 8 の M 点）。

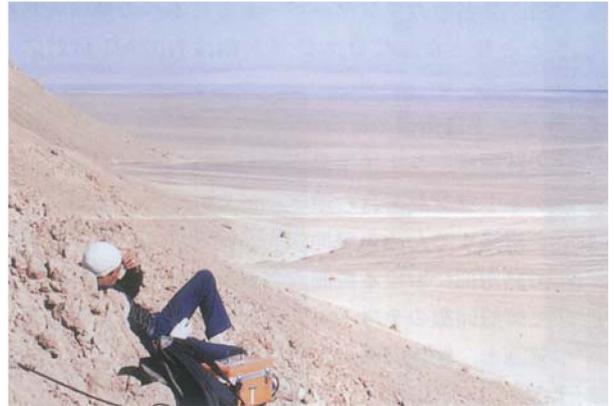


図 16. ハルガダ側の P 点（標高約 150 m）からシナイ半島
方向を望む。山麓から海岸まで平坦な砂漠が続く。



図 17. シャメルシェイクにおいて臨時観測点の打ち合わせ。
左からハスーブ、羽田敏夫、サラ、中村正夫、メガヘド。

2. 第2回予備調査

(エジプト側との研究協力協定締結及び地震観測網構築のための事前調査)

1992年10月12日、エジプトのカイロ南部でM5.9の地震が発生した。この地震によりそれまでに計画されてきた技術協力がよりいっそうの発展をみることになり、エジプト側とのR/D (The Record of Discussions) 締結のため、1993年1月18~31日の間、蔵真人団長以下5名が派遣された。本研究協力の目的は、これまでの調査結果に基づき、エジプトでも地震活動が高いシナイ半島南部での地震観測網の構築であった。無線テレメータ観測点10点の完成によって、より高精度、高品質のデータを収録し、地震活動を始め発震機構等の解析に資することが可能となる。この協定締結により毎年、長期専門家1名と短期専門家4~6名の派遣、2名のカウンターパートの日本への受け入れを行うこととなった。なおエジプト側はNRIAGが対応した。

2-1) シナイ半島南部の観測点候補地の確認

今回の計画は、シナイ半島南部およびエジプト東部にまたがるシャドワン島を含む地域を対象にした、無線による観測網を構築するための現地調査が目的であった。最初にシナイ半島南部における観測点の候補地(第1回予備調査において無線回線のテストのためスエズ海峡を挟んで行った)の確認と、無線回線のための地形確認を行った。さらに対岸のハルガダに渡り、予定された無線中継局付近の候補地と地形の確認を行った。ハルガダ集中局は海洋生物研究所(NRIOF: National Research Institute of Oceanography and Fishes)内の部屋を借りすることになった。

2-2) アスワン観測所のテレメータ観測網の見学

観測網建設の参考に、アスワンハイダム周辺部に展開されているテレメタリングシステムを見学した。このダムの

上流に、1982年から1985年までの間に13の無線による観測点が作られた。これらの観測点のうち2観測点は、上下動地震計に低感度と高感度を持つ(計4ch)3成分観測点であった。その他の観測点は上下動地震計1成分のみである。無線系は150MHz帯を使い、変調方式はFM-FM方式である。各点の送信出力は約1W、アンテナは5素子八木アンテナ、見通し外の点はサブキャリアー中継によっている。5観測点はドラムレコーダーでモニターされ、すべてのチャンネルはFM方式のアナログテープに記録されている。1985年にアナログ収録システムと並行してデジタル収録装置が付加された。

屋外の観測機器に対する環境対策としては、温度に対する問題、防犯上の問題があげられる。前者は機器の周りを岩で囲み、後者はさらにその周りを鉄格子で囲むことにより安全を確保する。また、アンテナマストは溶接作業によりNRIAGが自前で製作したものであった。観測機器はすべてアメリカ製で、変復調器はSprenghether社製、無線機(150MHz, 1W)はMonitron社製であった。無線機は占有帯域幅16KHzであり、また同地域のノイズはかなり低いものと推察されることから全体の回線のS/Nは上がるものと推察された。ちなみに、これらの無線機は、現在日本の大学が所有する400MHz帯移動無線機の帯域幅12KHzより大きい。日本でも以前は16KHzであったが、電波の有効利用の観点から狭められた。これらのシステムはハルガダ地震観測網構築にあたりたいへん参考になった。図18および19は、NRIAG所属の固定観測点およびアスワン観測所のテレメータ観測網である。これらの観測点の地震計および観測諸元を表2に示す。図20~25はアスワン観測所およびテレメータ観測点の設置状況を示している。

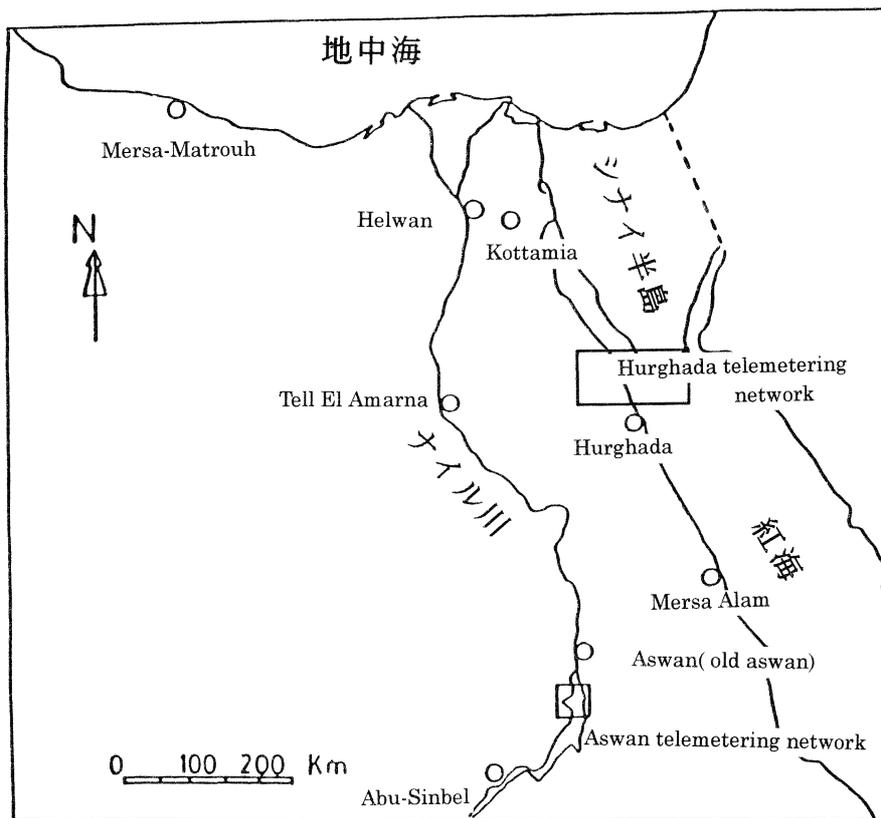


図 18. NRIAG 所属のアスワン地震観測点 (施設).
各観測点の諸元は表 2 を参照. 四角の部分は無線テレメータ観測網のある地域.

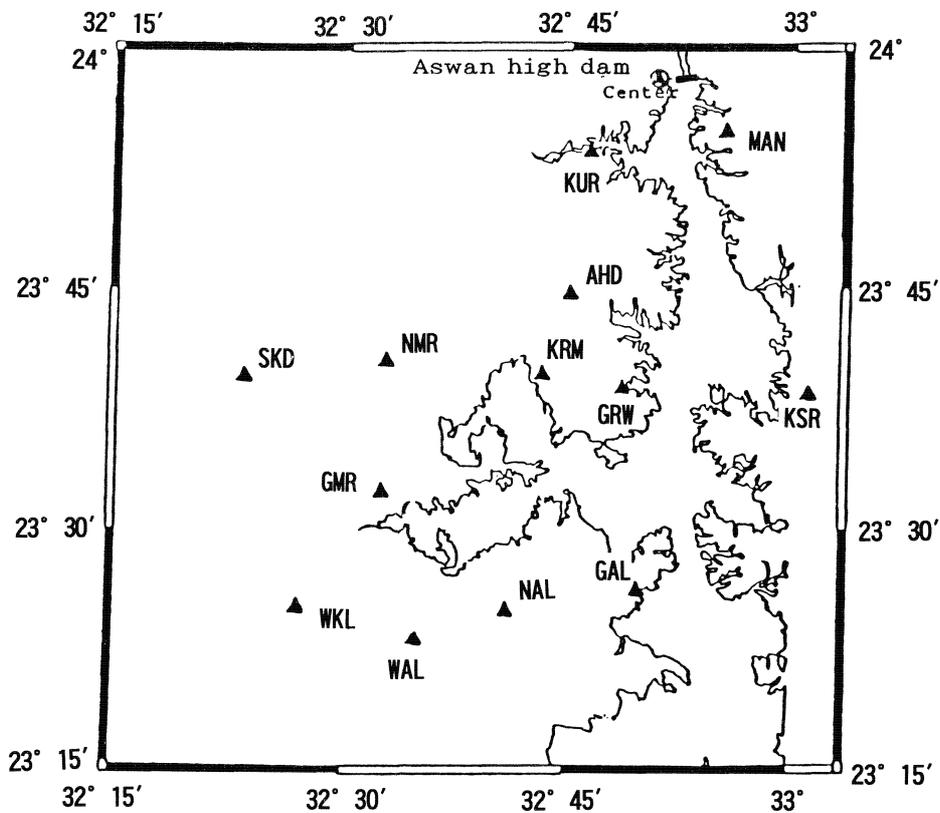


図 19. アスワン観測所所属のテレメータ観測網.

表 2. NRIAG 所属の固定観測点 (地震) 諸元.

Station code	Location	Instrument	Component	To (sec)	Tg	Record speed. (mm/min)	Magnification	Period of Operation
HLW	Helwan	Milne	E-W	12.0	11.1	10/15	250	1899-1961
HLW	Helwan	Milne-Shaw	N-S	12.0	---	10/15	250	1922-1962
HLW	Helwan	Galizin-wilip	V	11.2	11.1	15	1000	1938-1962
HLW	Helwan	Sprengnether	3-comp.	1.5	1.0	60	3000	1951-1962
HLW	Helwan	Benioff	3-comp.	1.0	0.7	60	50000	1962 → @
HLW	Helwan	Sprengnether	3-comp.	15.0	100.0	30	3000	1962 → @
HLW	Helwan	Japanese	3-comp.	SP		120	30000	1972 →
MMT	Matrouh	MSK (CKM-3)	3-comp.	SP		60	10000	1975 → *
ASW	Aswan	MSK (CKM-3)	3-comp.	SP		60	10000	1975 → *
ASW	Aswan	MSK (CK-D)	3-comp.	LP		30	2000	1975 → *
ASL	Abu-Simbel	MSK (CKM-3)	3-comp.	SP		60	20000	1975 → *
Aswan	Tlemetry Network		13V	1.0		analog/digital	39000	1982-1985 →
KOT	Kattamia		V	SP				1986 →
HUR	Hurghada		V	SP				1988 → stop(?)
TAS	Tell-El-Amarna		V	SP				1989 →
MRA	Mersa Alam		V	SP				1990 →

この他にギザのスフィンクスに近い場所に3成分短周期地震計が1990年より稼働中

(注) @印は世界の標準地震計として登録されている観測点, *印はロシアの標準地震計によるシステム.



図 20. アスワン観測所地震データセンター。
13点からなる観測点のデータ（短周期地震計）が無線によって送られて、当観測所で集中処理される。なお、他部門の観測も行われている。

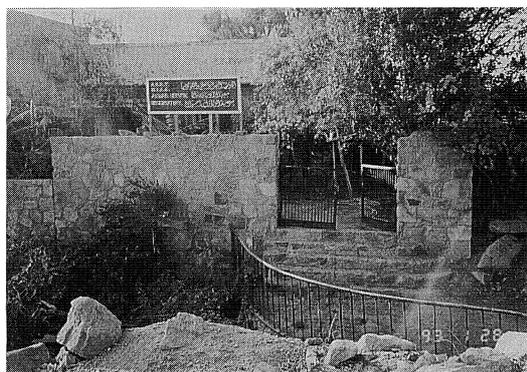


図 21. アスワンハイダム下流にある地震観測所。
ロシア製の観測機器によって観測されている。



図 22. アスワンテレメータ観測網の受信アンテナ群。
150MHz帯5素子八木アンテナ。

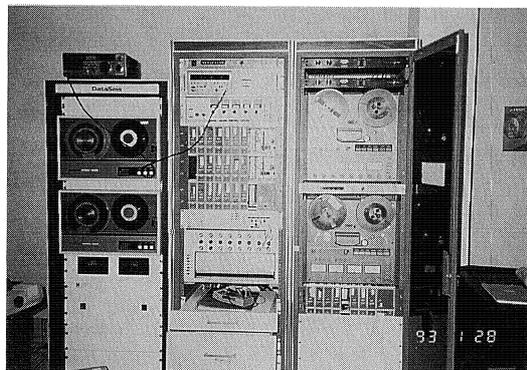


図 23. テレメータによる地震波形の自動収録システム。
左端がデジタルレコーダー、中心のラックの上段から時計、標準時受信機、復調器、モニターレコーダー。右端のラックはアナログ式レコーダー（FM方式）。波形データは定期的にヘルワンに送られ、再生される。

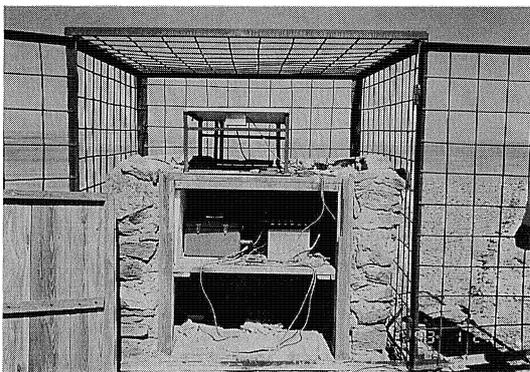


図 24. 観測点の機器設置状況。
観測機器の消費電力は約6W（500mA/12V）。上段は太陽電池、変調器、バッテリーである。外壁を岩で覆うことにより断熱効果をもたらす。その周りを鉄格子で囲み安全を保つ。内装および入口は木製。

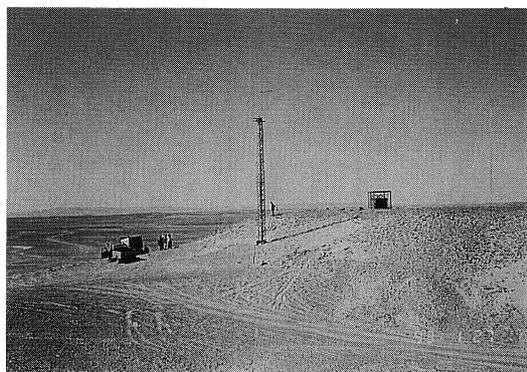


図 25. 観測点のアンテナマストと送信設備。
送信機はアンテナマストの基部にある。これらはNRIAGが作製した。

3. 第3回予備調査

(ハルガダ地震観測網構築のための再調査)

第2回予備調査の結果を踏まえ、ハルガダ市内の観測拠点および無線によるテレメータ観測点の配置の具体案作成と作業項目をまとめるための再調査を行った。1993年8月29、30日の両日、ハルガダ地域での観測網構築に関する調査を行い、その前後ヘルワンのNRIAGで具体的な作業内容についての交渉を行った。観測網構築の目的および地域選定については既に予備調査が行われており、今回の調査で解決すべき基本的な問題は、本拠地となる観測所設置の具体案、観測点配置(予定経費内で目的地域を囲む無線テレメータ観測網約10点)の具体案の2点であった。なお、調査の前提となった条件は、1. 観測網構築が予定期間内(JICA事業期間)に完成可能なこと、2. 観測網構築の基本となる通信伝達(無線テレメータ)網が設置可能なこと、3. 記録の一括集中と処理解析が可能な拠点を具体的に確保すること、4. 設置機器の連続運用および保守点検(エジプト側担当)が可能なこと、5. 観測網の配置が本来の目的遂行に十分応えうるものであること、などである。

観測センターの場所についてはエジプト側より具体的な

提案があり、また使用できる無線の周波数割当について予定(402MHz帯、1部で回線テスト済み)通りの使用が可能となったことでほぼ原案に沿って調査することができた。図26が今回合意に至った観測網案であり、検討内容は次の通りである。

3-1) ハルガダ観測センター予定地

観測センターの場所について、エジプト側から海洋生物研究所(NRIOF)敷地内と(NRIAG)所有地の2ヶ所の候補地が示された。

NRIOF敷地内(ハルガダ市北東部)は、同所内の2階建倉庫(図27)の一部借用が可能ということで調査した。この研究所はハルガダ市中心部より数Km北方にあり、紅海に面して位置する、対象となる倉庫は海拔約8mに建ち、高さ約7m、2階建てで4m四方の部屋が各階4部屋ずつあり、屋上は幅6m長さ20m弱でコンクリート造りである。アンテナは容易に設置可能で、付近に高い建物は無く、予定している中継点および南西側の視界は良好である。東側は紅海に臨みシャドワン諸島が望見され、各島とも標高が高い位置からの伝送は可能と考えられる。電源は約30mのところ電柱があり引き込みは容易であり、交通も便利

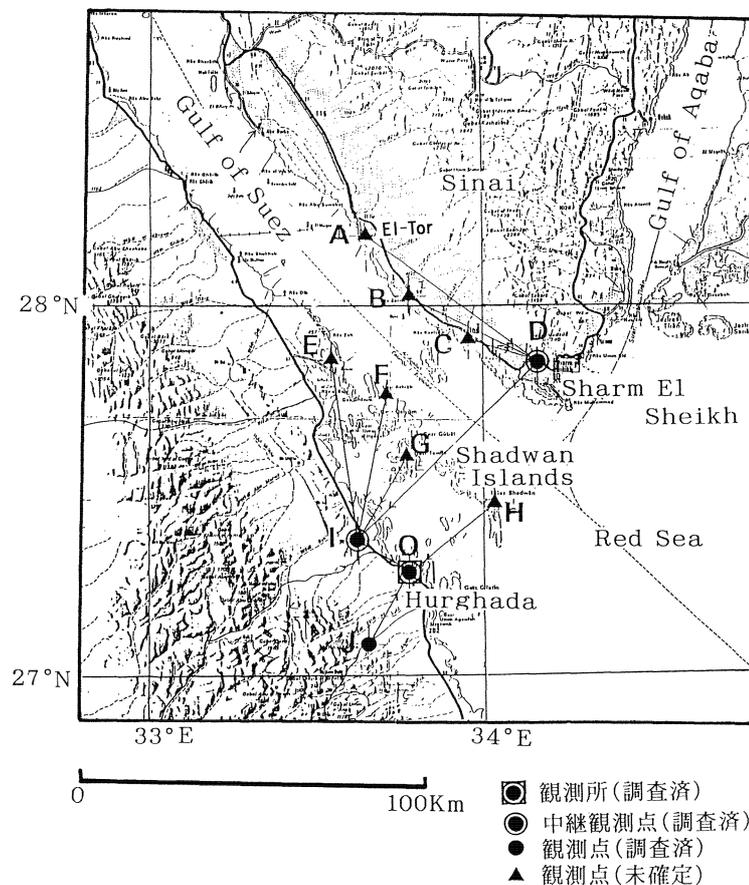


図 26. 予定観測点と主な地名。
(Kummerly+Frey, Bern Edition, 1988の地図に加筆)。

である。機材の設置には当座2部屋で十分であり、エアコンの設置と防塵対策を考えれば十分使用可能である。なお、敷地は広く中低感度観測も可能と思われた。以上、記録収集拠点としての立地条件に問題はなく、短期間で改善作業が可能で当座の観測所としては満足できるものと判断した。

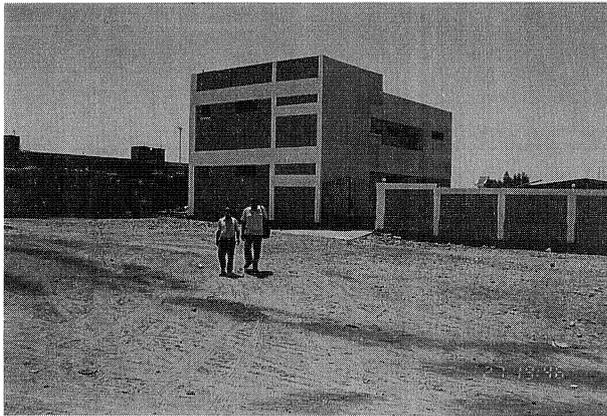


図 27. ハルガダ観測網のデータ集中局となった海洋研究所の建物。1999年に新しい観測所に機器を移設予定。

NRIAG 所有地（ハルガダ市南部）はハルガダ市街地の造成地の1画（50m²）で、緩やかな傾斜地の上部域にあるが、配管埋設工事中で道路整備などまだまだ時間がかかり、短期に観測所を建設することは難しいと判断した。

以上の理由から、エジプト側とは NRIOF 敷地内の用地で計画をスタートすることで合意した。

衛星観測点については、観測網構築の要になる中継点と一部端末点の調査を行った。他は時間がなく机上の検討により概略の位置を決めた。検討内容の概略を 3-2) ~ 3-8) に示す。

3-2) ハルガダ側中継点 I 点予定地

1990年1月の調査の際、シナイ半島側との回線テストに成功している図8のS点を第1候補として調査した。近傍は頂上がほぼ200m程度の小山が点在するやや平坦な丘陵地形であるが、南東ハルガダ方面（ハルガダ観測センター予定点）、北方ツァイツナ（ZEITUNA: 予定E点）、北東側前面の島々（F, G, H各予定点）の視界は良好で、好適地であるとの結論に至った。

3-3) J 点予定地

予定J点は観測網の南端の点として特に重要である。今回、直接ハルガダ観測センター予定点に伝送する方が望ましいとの考えから、高度200m以上で進入路に比較的近い小山を探した結果、周辺平地からの高度約40mの適地を見つけた。

3-4) E 点予定地 ツァイツナ（ZEITUNA）

大陸側の最北点として重要である。1990年の調査時に

は、石油会社用地であるとの理由から調査に入れなかった。今回、中継点（図26のI点）の位置が確定でき、この点を中継してE点の回線を作ることに問題はない。丘陵地部分も広く、観測点の選択は容易であると判断され、エジプト側に決定を委ねた。

3-5) F 点予定地 ケサム島（GEZR. QEISAM）内または近傍の島、対I中継点。

G 点予定地 タウィラ島（GEZR. TAWILA）内または近傍の島、対I中継点、高度が充分高ければ直接O点送信も可能。

H 点予定地 シャドワン島（GEZR. SHADWAN）内、対I中継点、高度が十分高ければ直接O点へ伝送も可能。

F, G, H各点については調査時間が無く、軍の許可が必要であり、エジプト側に選点を委ねた。

3-6) D 点予定地 シナイ半島側中継点

今回の調査範囲ではないが、ハルガダ側中継点が1990年の回線テストにおけるS点（今回のI点）に固定されたことにより、自動的にD点予定点として当時のシナイ半島側調査点W、アブキシェブ（ABU KHISHEIB）、高度約290mが採用できる。

3-7) A 点予定地 エルトゥール（El-Tor）付近

D点より直視できるエルトゥールの北山麓付近が候補地である。現地には鉱山会社があり、このノイズを避けることが必要であるが、選定できる範囲が充分あるため選点は比較的容易と思われる。選点はエジプト側に委ねた。

3-8) B 点予定地 A, B の中間北西側。

3-9) C 点予定地 A, D の中間南東側。

B, C点は砂漠地であり、特にこれといった目標地点は決め難く、車の進入が大きな問題である。1990年の調査ではC予定点のD点寄りで行っているが、電波伝播テストに問題はない。大雑巴な範囲を指定し、エジプト側に調査を委ねた。

4. 第1回ハルガダ地震観測網の建設

これまでに行った観測網構築の事前調査の結果、NRIAG側の意向に基づき、シナイ半島南部に10点からなる無線による地震観測網を建設することが決定された。これらは3年計画で進められることになり、1993年7月よりこれらの事前準備のため長期専門家1名が派遣された。観測網の建設にあたりそのシステムの仕様が決定され、観測点に係る機材の入札が行われ、一部の建設資材と2台の車が船便にて送られた。第1回目の観測網建設において、日本側は短期専門家3名、長期専門家2名がこれに従事した。

地震観測網の形態は、今回設置される観測点には電源がなく、しかも砂漠の中という環境条件から無線回線による観測網を構築することとなった。また予算上の制約から、

各観測点は、短周期上下動地震計 1ch (実装は 4ch 一部の観測点は 3 成分 FM-FM 方式) とし、中継 2 回線のみ PCM 方式とすることになった。

日本側による協力の内容はエジプト側の意見を踏まえ、今まで机上で確認された無線観測点について具体的な観測点位置を決定し、無線回線の可否について判断 (受信レベルの確認) すること、あわせてパンザマスト建設方法、設

備設置方法を実地指導すること、およびハルガダ集中局にインク書きドラムレコーダーを設置することであった。

図 28 の建設予定観測点中、第 1 回目の観測網建設においてシナイ半島側の 4 点、ハムムーサ (HAMM)、アタト山 (ATOT)、マゼリア (MAZR)、シャメルシェイク (SHRM) とエジプト側東端のゲベルアブシャル (ABSH)、ハルガダ集中局の位置を地図上にて確定してい

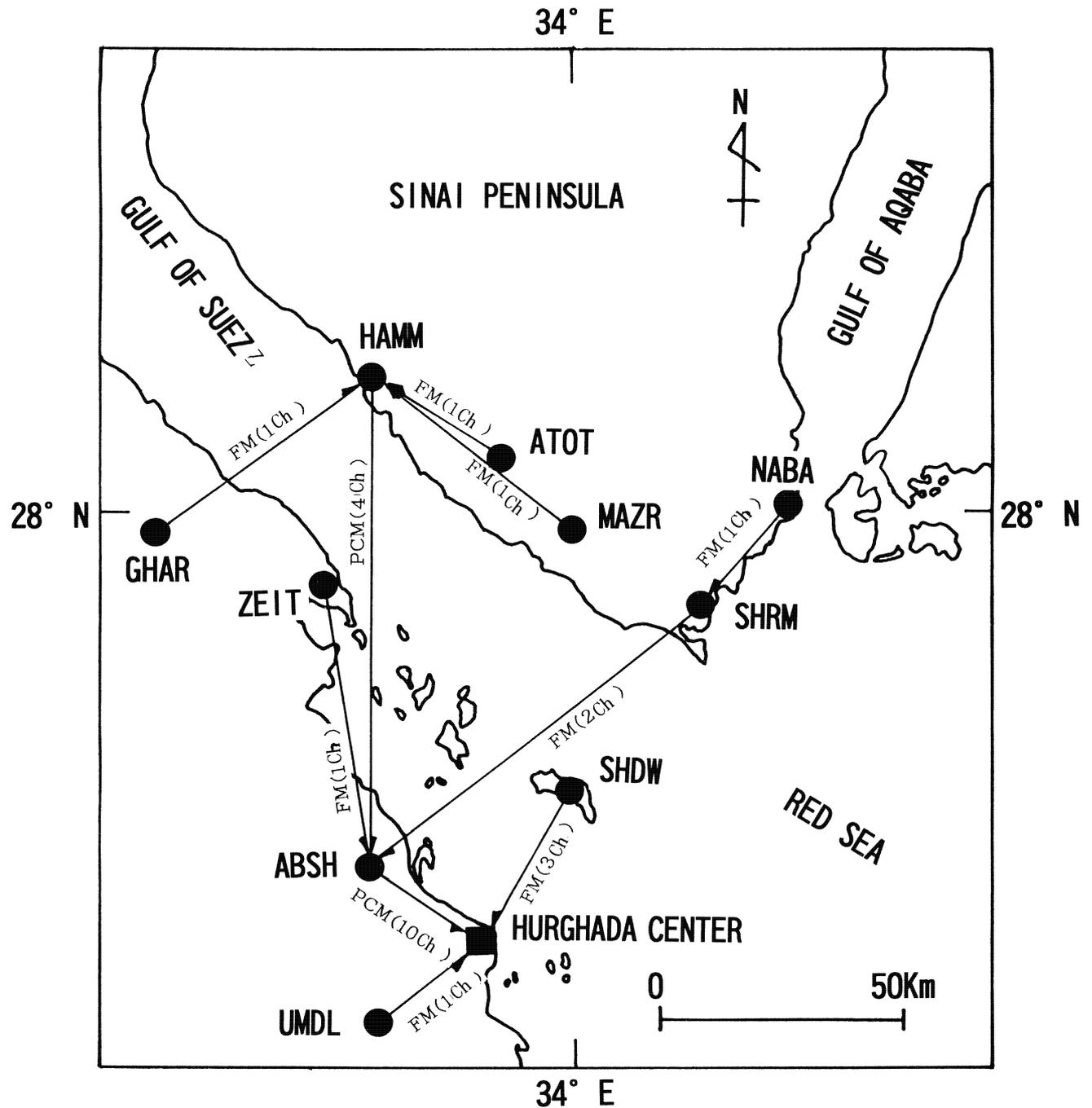


図 28. ハルガダ地震観測網 (1998 年 11 月現在).
NABA~SHRM 間は NRIAG 側で独自に開設した。FM, PCM などの添え字は無線回線の種類を示す。

たが、具体的な場所と回線状況（受信レベルなど）については未確認であった。エジプト側の案に基づき現地を確認し、その都度、無線回線の受信レベルを確認しながら観測点位置を確定していった。パンザマスト設置作業はエジプト側と日本側のスタッフによって進められた。以下の4-a), b) はゲベルアルシャル、ハムムーサ観測点の設営について詳細を記したものである。

4-a) ゲベルアルシャル (ABSH) 観測点のパンザマスト設営

ABSH 観測点は、シナイ半島側および周辺の観測点と対ハルガダ集中局の中継局（短周期3成分観測点を兼ねる）としての機能を持つ重要な点である。標高約200mに位置し、スエズ海峡を越えて対岸のシナイ半島が見渡せる。観測点設営は、山頂に登る車道がないため資材の搬入はすべて人力に頼らざるをえなかった。水、セメント、砂、コンクリートパネルなど大量の資材は現地で人夫を雇って現場に搬入された。また、パンザマストを建てるための穴の掘削は、地盤が岩盤に覆われていたためノミとスコップだけに頼った。観測機器、太陽電池用基礎の設計は現場において行い、基礎作りの際に使用される型枠（コンパネ）による型枠作りが行われた。途中ハムシーンにみまわれ、この中での作業は容易ではなかった。図29～33は、観測点のパンザマスト設置作業中および完成後の写真である。この観測点の設営に約1週間を要した。

4-b) ハムムーサ (HAMM) 観測点のパンザマスト設営

HAMM 観測点は4観測点 (HAMM, ATOT, MAZR, GHAR) のデータを中継し、対岸の中継観測点 ABSH に送る機能を持つ重要な観測点である。この観測点の位置を確定し、HAMM～ABSH 間の無線回線テストを行った。良好な結果を得たが多少の心配があった。それは、海峡をはさんだ回線であるため、潮汐によるフェージングの影響をどの程度受けるかということである。これを確認するためには1日ないし2日の連続受信によるテストが必要であったが、残念ながら時間的余裕がなく断念した。ただし、PCM テレメータが動作するために必要な所要エラーレイトを満足する受信レベルは確保できた。表5に各観測点の受信レベルのマーヅンを記載した。

HAMM 観測点は岩盤に覆われていたが、中東戦争時にイスラエルが作った穴を利用することができ、工期短縮につながった。この作業と並行して、HAMM 観測点を中継して伝送するシナイ半島側2点 (ATOT, MAZR) の選定および受信レベルの確認を行った。HAMM～ATOT 間は良好な結果が得られたが、当初予定していた HAMM～

MAZR 間に問題があり、あらためて別の観測点を選定した。また、SHRM の観測点を新たな点として選定した。この観測点は、直接スエズ海峡を渡って ABSH 観測中継局に送られる点であり、高度を必要としたが、ほぼ満足できる位置を確保できた。日本側の指導によって建てた HAMM 観測点のパンザマスト建柱以降は、エジプト側のみで観測点を作ることが可能となった。

日本から運ばれていたドラムレコーダーを、海洋センター内ハルガダ集中局の間借り部屋に設置した。同時に、後から設置される機器のために部屋の図面の作成を行い、エアコン、電源の配線、机、椅子、整理棚の用意など部屋の整備についてエジプト側に要請した。図34は今回建設に携わった日本側メンバーである。

(第2回ハルガダ地震観測網建設は、テレメータ機器メーカーの明星電気から8名の技術者が現地に派遣され、基礎工事の終わった各観測点で機器の据え付けを行っている。)

5. 第3回ハルガダ地震観測網建設

(観測網増設のための支援)

いままで2回に分けてハルガダ地震観測網の建設が行われ、10観測点の内6観測点が完成した。今回の協力では、残る4観測点の建設と、ハルガダで収録された地震データを電話回線を利用してヘルワンまで転送するダイヤルアップシステムの構築が目的であった。事前に送付した機材が通関できず、滞在期間中に開梱できない事態に会い、作業を大幅に変更せざるを得なかった。前年度に発送してあった機材のやりくりで、ハルガダ側最北のガラモウル山 (GHAR) 観測点とシナイ半島側最南のシャーマルシェイク (SHRM) 観測点の2観測点の完成をみるに留まった。今回の最大の成果は、観測点建設から機器の設置に至るまで全て現地スタッフの力で完成させたことである。アンテナ取り付け方向の指示と、彼らの指示で同軸線の接続を手伝っただけで、手や口をだす必要がほとんどなかった。前回までの技術指導が行き届いていることに驚いた。完成をみなかった残る2観測点はエジプト側に任せても何ら問題ないことを確信した。翌1996年、残りのナバク (NABA)、シャドワン島 (SHDW) の2観測点はエジプト側スタッフだけで完成させたと聞いている。

電話回線によるハルガダ～ヘルワン (NRIAG) 間のデータ転送は、回線量が不足の上、質にも問題があり設定が難しいことが判明した。エジプト側の基盤整備に期待し、電話回線の質の向上を待つこととなった。図35に今回のメンバーを示す。



図 29. NRIAG 側スタッフがパンザマスト用の穴をノミとハンマーを使って掘る。
ほとんどの場所が岩盤のため、1点あたり約1日を要した。

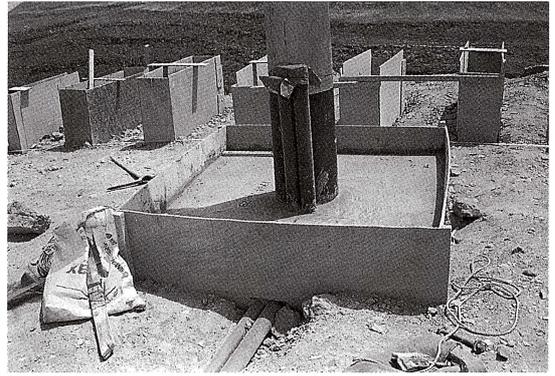


図 30. パンザマストの基礎の型枠および太陽電池、送信機の基礎の型枠作り。
型枠は小林勝の指導にて作られた。ABSH 中継観測点は約 220 m の高所で、山頂までの車道がないため資材の運搬は人力に頼った。この点の建柱に3日間を要した。また、ハムシーンの熱波にみまわれ作業は難航した。



図 31. パンザマスト基部の設置作業。
パンザマストの基部（最初の一本）をいかに垂直に保つかが問題であったが、日本側がカイロで購入した「下げ降り」水準器が役に立った。



図 32. パンザマスト上部の組み立て。
角材に滑車をつけて各パンザマストのセグメントを吊り上げ、順番に下から積み上げていく。この方法は小人数（2人程度）で建設する方法として日本で採用されている。



図 33. ABSH 観測点（最初の一本目）のパンザマスト完成記念写真。
後列左から村上寛史，二人おいて橋本信一，一人置いてムスタファ，マルズーク，ガマール。前列左から，メガヘド，瀬戸憲彦，一人おいて小林 勝，アラビ，ハッサン。



図 34. ヘルワンの天体地球物理研究所前にて。左から瀬戸憲彦，橋本信一，横山 泉，木股文昭，小林 勝，村上寛史。



図 35. 1995年4月の第3回目の建設に従事したメンバー。前列左よりアラビ，アリ・カメル，杉山志行，ヘシャム，羽田敏夫。後列左よりマルズーク，アリ・シャバン，古川信雄，村上寛史，メガヘド，大倉敬宏。

シナイ半島南部における無線による同時多点観測システムの演習と自然地震による地殻構造の推定

1992年から始まった日本-エジプトとの地震学研究協力(主として地震観測の建設)は、今回のプロジェクトを最後に一応の終了をみることになった。今回はシナイ半島南部において無線による地震の同時多点観測を行い、このシステムの供与に伴う運用方法のエジプト側への研修を兼ねて、同地域の地殻構造の推定を行った。

1. 無線による同時多点観測

観測は約17日間行われた。始めにGPS時計の設定に問題があり、衛星を捕捉することができなかった。このための設定用ケーブルを忘れていたため、急遽日本に送付を依頼した。最初からのつまづきであったが、代替えとして矩形波の調整用発振器を使い急場をしのいだ。実際にケーブルが届き、GPS時計によって動作を開始したのは観測終了1週間前であった。観測点の選定は日本側が行く前にエジプト側にて行われており、作業は順調に進んだ。ただ、観測地域が砂漠の中であり、砂嵐によるノイズなどのため機器設置作業は困難を伴った。また、測線が70kmと長く、メンテナンスやデータの吸い上げに時間を要した。当初、ミストリガーが多かったため、データの吸い上げをほぼ毎日行なわなければならなかった。観測点数は最終的に23点になり、この期間に収録された波形データは290MB(トリガーミスを含む)であった。収録された地震は約40個であったが、ほとんどの地震はシナイ半島南部、アカバ湾東部の地震であった。測線直下の地震も1個収録された。図36はシナイ半島南部の臨時観測点と定常点の位置である。

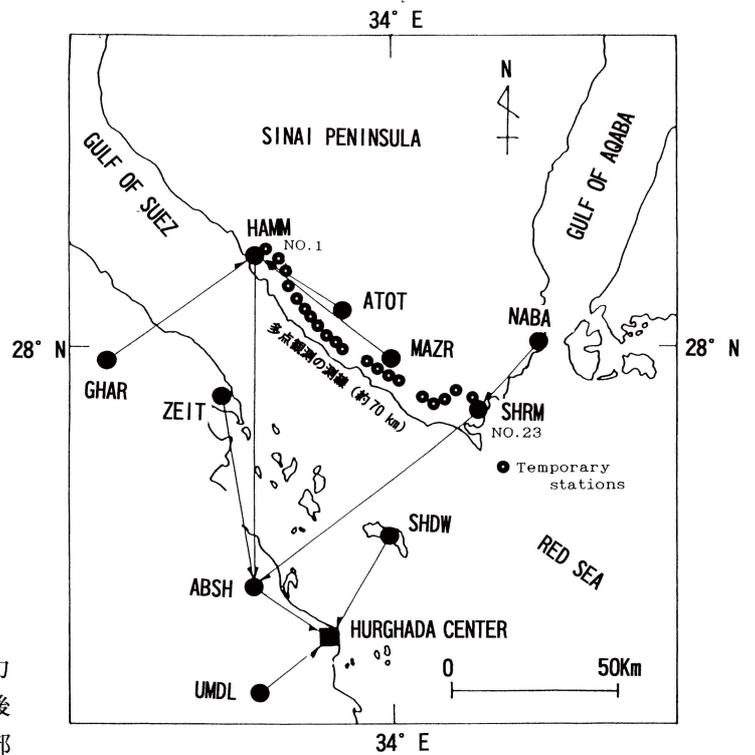


図 36. ハルガダ地震観測網とシナイ半島南部の臨時観測点。白丸は臨時観測点，黒丸はハルガダ観測網の固定点，黒四角はデータセンター。

2. 観測システム

ハルガダ観測網の既存観測点データによりトリガーをかける必要から、HAMM観測点を無線による制御送信点とした。ここに集まる4観測点のアナログデータにより、トリガー信号が作られ、各観測点の収録を制御する。図37はトリガー制御観測点のシステムブロックダイアグラムである。各観測点は受信機とS-RAMカードによる収録装置か

らなり、トリガー信号を受信することにより収録が行われる。収録時間は1地震に対して1分を設定した。図38は各観測点の収録システムブロックダイアグラムである。また以下に、無線による同時多点地震観測システムの仕様を示す。無線の周波数は、あらかじめエジプト側から68.00MHzという専用波が用意された。

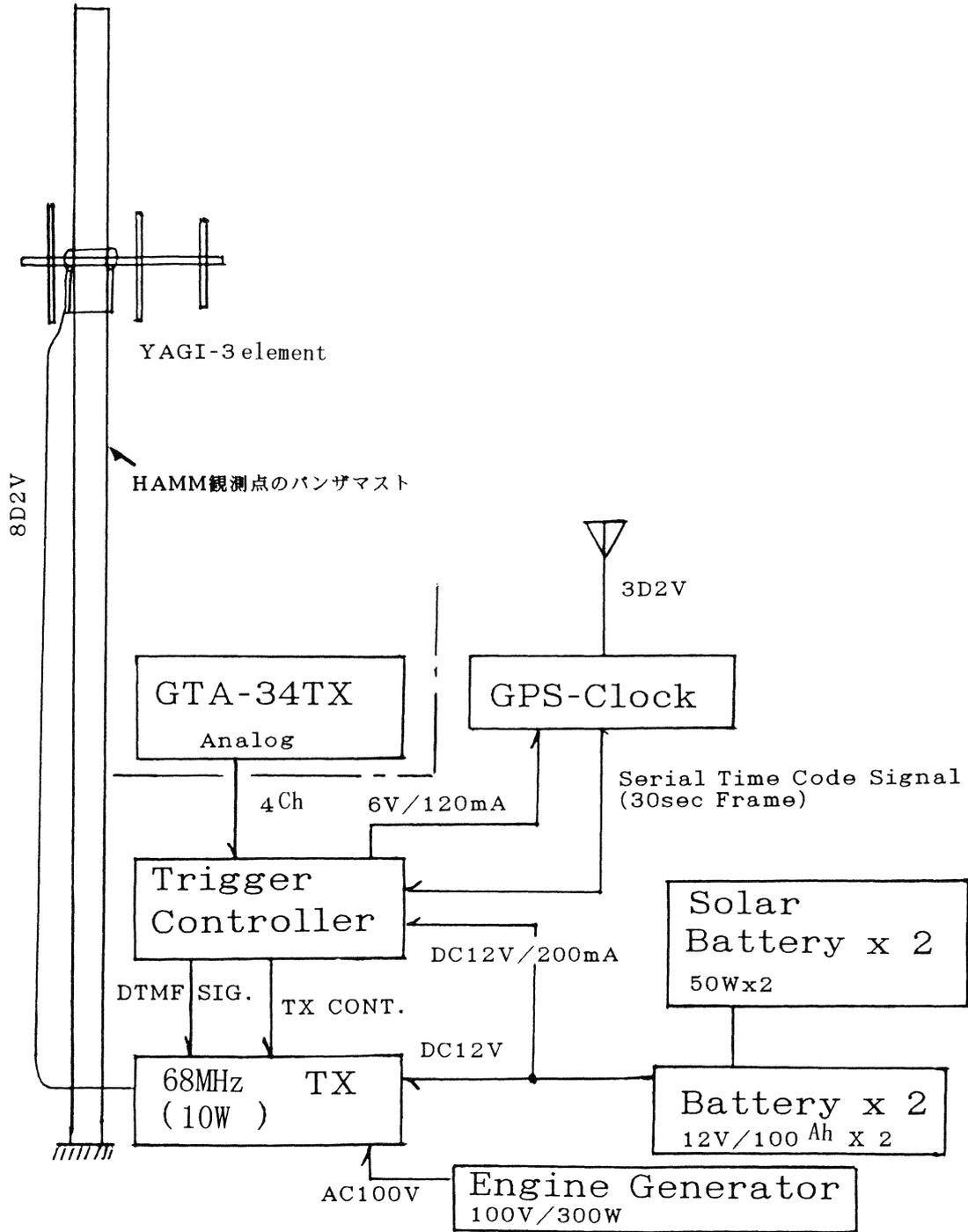


図 37. 無線による同時多点観測システムのトリガー信号送出系統図。
 観測線が片側のみの直線のため、アンテナは片指向特性を持つ3素子八木アンテナを使用。HAMM観測点に送られてくる4観測点のアナログデータからトリガー信号を作成し、各観測点に収録信号を送る。通常はGPS時計のスローコードを送る。電源は太陽電池と鉛バッテリーにより駆動されるが、充電が追いつかないので昼間は発動発電機により補充充電を行う。

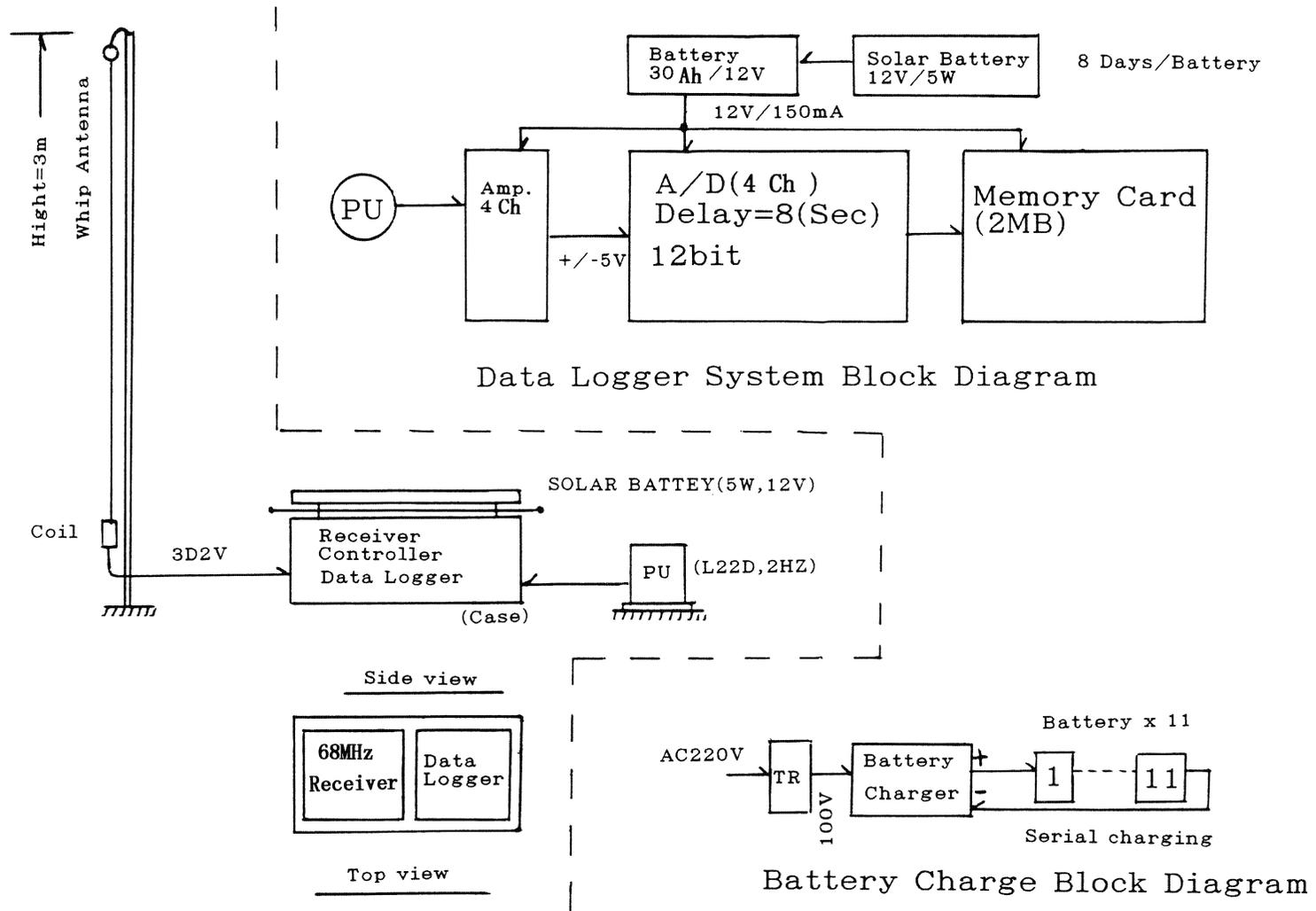


図 38. 同時多点観測のための収録システム系統図。
 制御信号受信アンテナは NRIAG 側が木柱を用意してくれた。収録装置はアンプ、A/D コンバーター、メモリーカードからなり、電源には鉛電池 (30 Ah)、太陽電池を使用。右下は、バッテリーを 12 個並べてまとめて充電するためのブロックダイアグラム。地震計は 2 Hz (L22D) を使用。

1) 送信点

- ① 送信機および周波数：68.00 MHz, 10 W, 3 素子八木アンテナ
- ② トリガー装置：アナログコンパレータによる, 4-OR 方式 (4 観測点の波形データの OR 論理によりトリガー信号が作られる) 波形は HAMM 観測点に集まっている 4 観測点のアナログデータに拠った。
- ③ 時計：LS-10k (白山工業製) のスローコードを絶対時刻として使用
- ④ 電源：12 V/1 A, 200 Ah 2 個のバッテリーと太陽電池 (100 W) に拠った。

2) 各観測点

- ① DTMF 受信機：68 MHz 受信機および DTMF エンコーダ (大洋工業製)。アンテナを含む。
- ② 収録装置：4 ch アンプを含む 12 bit A/D に拠る。収録媒体は S-RAM カード (2 MB)。今回は上下動成分の高, 低 2 ch を使用した。サンプリング 128 Hz として S-RAM カード 1 枚に約 65 個の地震が収録可能。
- ③ 電源：12 V/30 Ah の鉛バッテリー。負荷は 12 V/150 mA である。付加電源として 5 W の太陽電池を使用した。バッテリーのみで約 8 日間稼動可能である。実際は初期充電ができていない新品のバッテリーにて 16 日間稼動できた。これは太陽電池に負うところが大きかったと推察される。
- ④ 受信感度：測線が 70 km と長く、送信から 60 km までは見通し範囲である。それ以降は見通し外であったが、人工的なノイズが低いせいか受信レベルが低くても S/N=20 dB を確保できた。ただ

し、場所によっては時間による電界の変動が見られた。

3. 観測の分担, その他

観測点の選定はあらかじめエジプト側で行われており、最初の機器設置については主としてエジプト側が、その後のデータの吸い上げ、メンテナンスについては日本側が行った。ほとんどの観測点が砂漠の中にあつたため、道に迷うことが多々あつた。データのパソコンへの吸い上げは移動時の車の中で行つたが、砂の影響でパソコンのキーが動かなくなるなど、砂嵐には悩まされた。観測測線が長いため、データの吸い上げに約 1 日を要した。今回の観測における全走行距離は 1 往復約 200 km として約 3000 km となる。また砂嵐による被害として、車のフロントガラスにひび割れが生じたり、タイヤが損傷した。観測の合間に既設の観測点、増設点 (NABA) などを見学した。また、HOT 型データロガーによる収録システムの取り扱い説明 (図 39) および今回の観測システムについての説明が日本側からなされた。

4. 観測結果

観測された地震は 40 個であり、震源決定のできた地震は 21 個であつた。主に紅海北部 (シナイ半島南部) とアカバ湾東部の地震と推定された。震源計算は、とりあえず、今回展開した観測点のみにより行つたが、正確には既存の固定観測点のデータを付加して決定されなければならない。表 3 に各観測点の座標を示す。これらの座標は GPS によって決定され、高さについては 10 万分の 1 の地図に拠った。図 40 に、震源決定のできた仮震源の位置と地震番号を示す。図 41, 42 は、地震の波形を震源からの距離順に並べたものである。図 43~48 は観測状況を示したものである。



図 39. 日本側からエジプト側への収録装置取り扱い研修。
前列左よりムスタファ、小泉誠、フセイン、ファッカル、後列マルズーク。

表 3. シナイ半島南部における臨時観測点の座標.

Station	Longitude	Latitude	Height(m)	Remarks
01	33 34 43.1 (33.57846)	28 16 30.0 (28.27499)	241	HAMM station
02	33 41 51.6 (33.69766)	28 13 58.2 (28.23283)	88	
03	33 41 47.2 (33.69644)	28 12 33.2 (28.20922)	78	
04	33 42 28.4 (33.70790)	28 11 02.7 (28.18410)	75	
05	33 43 38.7 (33.72741)	28 08 22.5 (28.13958)	60	
06	33 44 32.2 (33.74227)	28 06 35.5 (28.10986)	60	
07	33 45 46.3 (33.76286)	28 05 36.0 (28.09333)	58	
08	33 47 02.6 (33.78405)	28 03 38.3 (28.06063)	42	
09	33 48 06.2 (33.80172)	28 02 16.4 (28.03788)	44	
10	33 49 26.9 (33.82413)	28 01 01.2 (28.01699)	54	
11	33 50 35.5 (33.84319)	27 59 40.7 (27.99463)	50	
12	33 52 49.7 (33.88047)	27 58 24.7 (27.97352)	44	
13	33 55 24.5 (33.92347)	27 57 30.7 (27.95852)	45	
14	33 56 58.1 (33.94947)	27 56 53.4 (27.94816)	82	
15	33 59 16.1 (33.98780)	27 55 27.8 (27.92438)	78	MAZR station
16	34 00 29.6 (34.00822)	27 53 55.7 (27.89880)	62	
17	34 01 51.5 (34.03097)	27 53 03.0 (27.88416)	60	
18	34 03 23.7 (34.05658)	27 51 38.5 (27.86069)	60	
19	34 05 06.3 (34.08508)	27 50 43.0 (27.84527)	95	
20	34 06 26.3 (34.10730)	27 49 58.0 (27.83277)	95	
21	34 07 56.7 (34.13241)	27 51 07.5 (27.85208)	145	
22	34 08 48.7 (34.14686)	27 51 27.2 (27.85755)	190	
23	34 15 26.3 (34.25730)	27 51 19.3 (27.85536)	300	

(注) 単位は 度 分 秒、 () 内は度、 高さは (m)

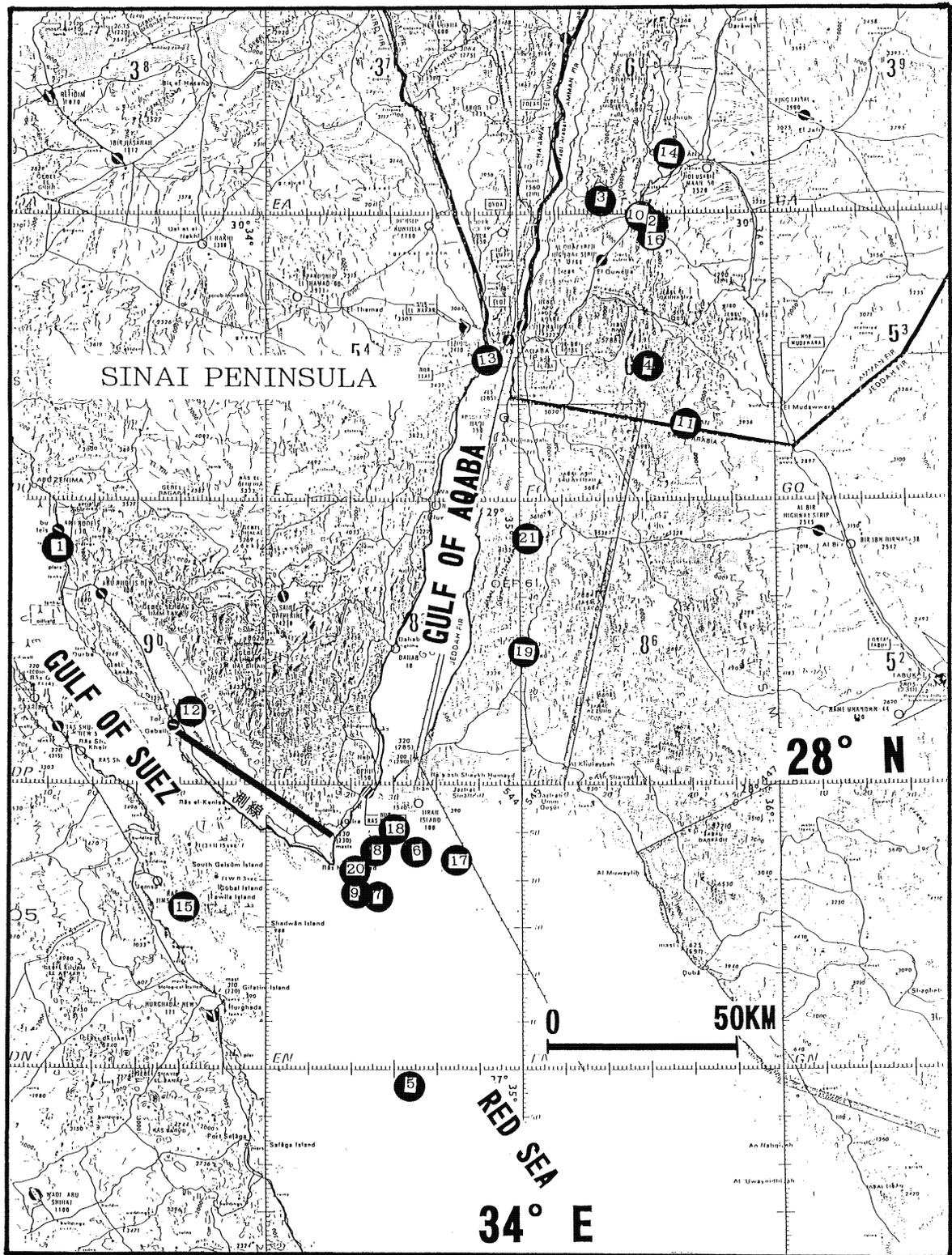


図 40. 同時多点観測の測線と収録された主な地震の震央（黒丸中に番号のあるもの）。いずれも測線内3点で決めた仮震源である。地図は Defense Mapping Agency Aerospace Center 作成による。

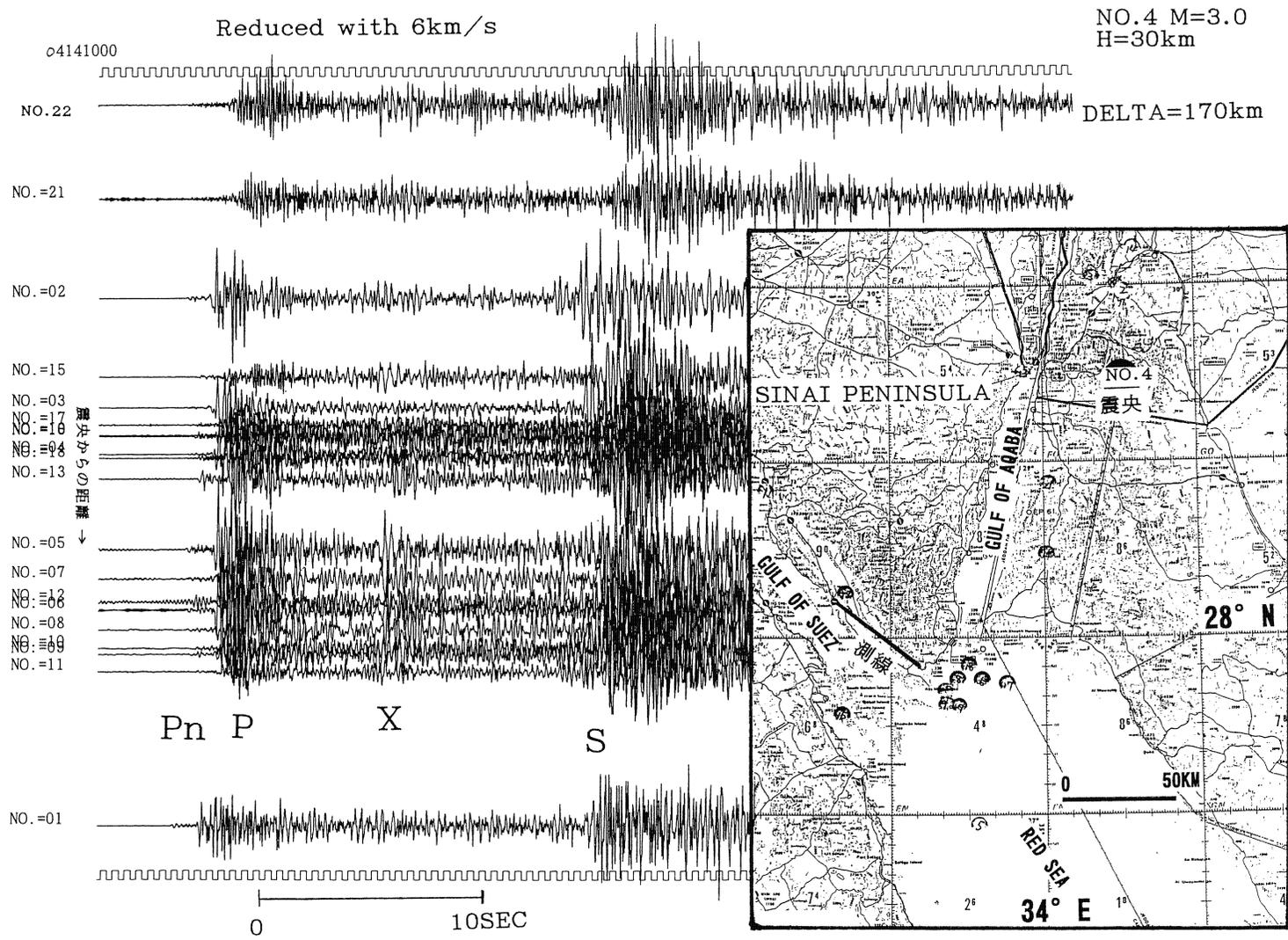


図 41. 観測波形例.

右の地図中、NO. 4 の地震の観測波形。横軸は時間、縦軸は震央からの距離で、波形の頭についている番号が表 3 の観測点番号に対応する。波形は上下動のみの記録である。各点に顕著な位相が観測されている。地図は Defense Mapping Agency Aerospace Center 作成によるものを使用。

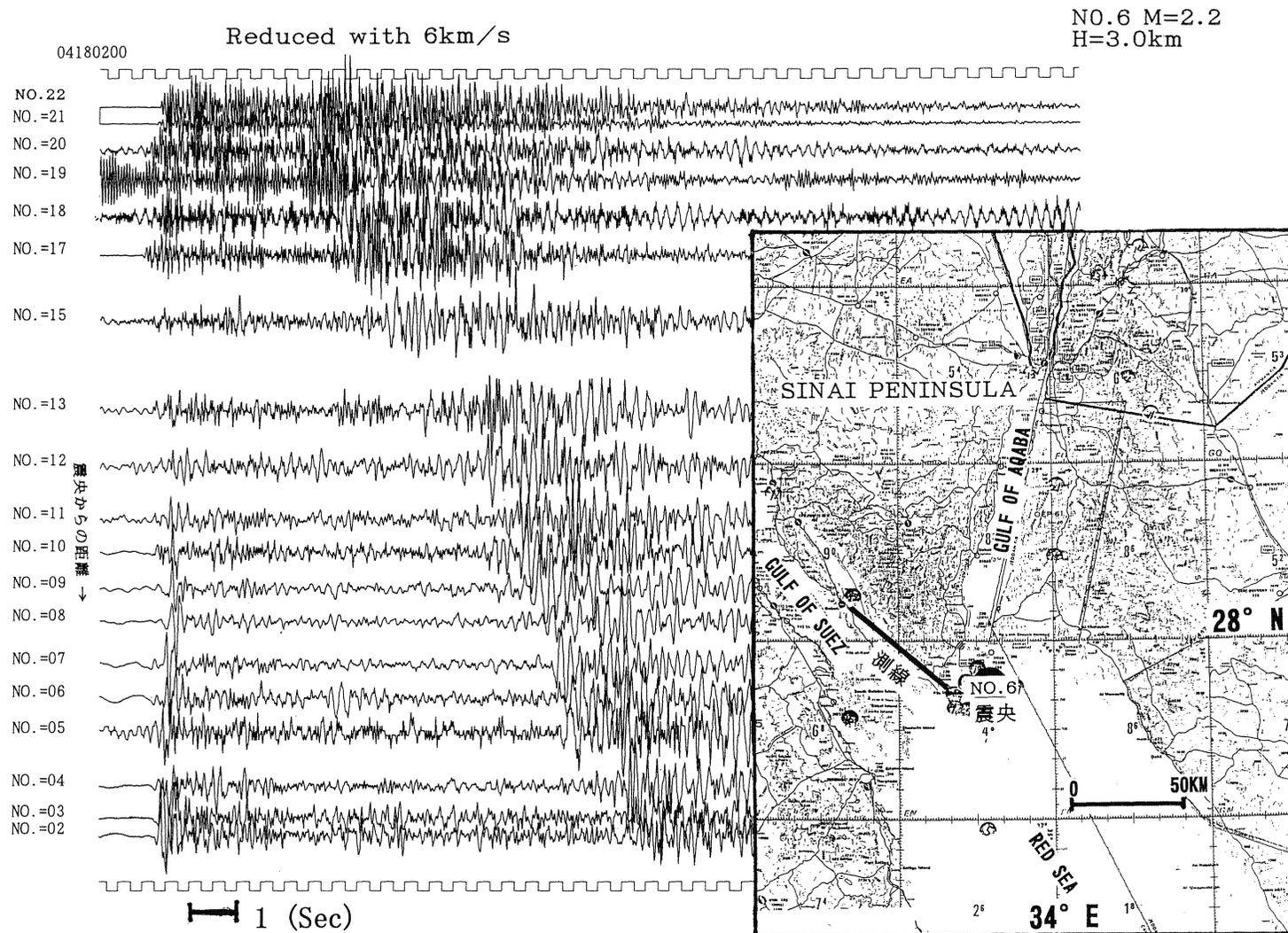


図 42. 観測波形例。

震央は右の地図中、比較的測線に近い NO.6 である。横軸は時間、縦軸は震央からの距離、波の頭についている番号が表 3 の観測点番号に対応する。NO.5 から NO.13 の間に反射波らしきものが見える。地図は Defense Mapping Agency Aerospace Center 作成によるものを使用。

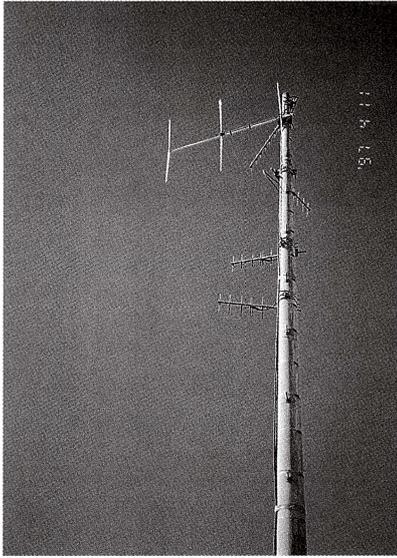


図 43. HAMM 観測点のパンザマストにつけられた 68.00 MHz 用 3 素子八木アンテナ。この場合は測線が直線のため、無指向性のアンテナではなく指向性のアンテナを使用した。下段の 4 アンテナは固定局用 402 MHz 帯アンテナである。



図 44. 観測点の設置。約 3 m の角材が受信アンテナ用ポールである。

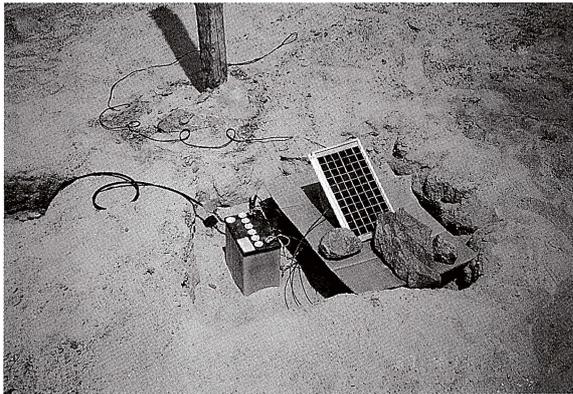


図 45. 収録装置の設置状況。30 Ah/12 V のバッテリーと太陽電池、段ボール紙（日よけ）の下が収録装置。左の穴に上下動地震計（2 Hz）。上の角材がアンテナポール。これで連続 18 日稼動。ほとんど毎日が晴れのため、太陽電池の効率は良い。

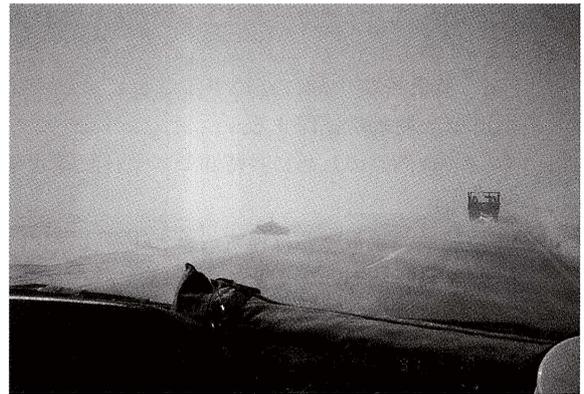


図 46. 観測点設置中の砂嵐。数十メートル先が見えなくなる。

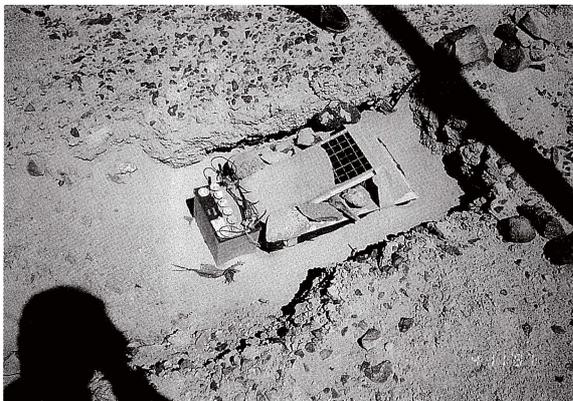


図 47. 砂嵐後の収録装置の状況。雨が無いのがせめてもの幸い。



図 48. 観測に参加したメンバー。後列左よりフセイン、マルズーク、瀬戸憲彦、メガヘド、ヘシャム、前列左から小泉誠、ファッカル、アリ、カメル。

ハルガダ地震観測網の概要と最近の稼動状況

ハルガダ観測網は完成後4年を経過するが、最終仕様および最近の稼動状況については今まで報告されていなかったため、ここにまとめて記載する。

この中で使用した一部の図は建築研究所・古川信雄氏および明星電気株式会社・杉山志行氏によるものを含む。

1. 地震観測ネットワークの基本仕様

地震観測の対象地域は無人、荒野であることから、以下の内容を満足する仕様を作成した。

- 1) データ伝送は、中距離における電波伝播特性が良好であるという理由から400 MHz帯の無線回線とする。
- 2) 電力事情および予算の制約からFM-FM方式のテレメータとする。
- 3) 中継観測点の設置により広域な観測網を確保する。
- 4) すべての観測点は太陽電池と鉛蓄電池によって駆動される。
- 5) パンザマストの利用によって、観測点の建設を容易にする。
- 6) GPS時計を集中局に使用することにより、安定度の高い時刻を確保する。
- 7) 特定の観測点のために長時間モニター記録計を用意する。
- 8) 集中局における電源は停電対策と電源安定化の機能をあわせ持つ。
- 9) 集中局は各観測点のためのアナログデータ出力を持つ。

2. 各観測点の仕様

1) 無線回線用伝送機器の種類

地震観測網のために使用している伝送方式は、2種類のFM-FM方式と2種類のデジタル(PCM)方式により構成される。(FM-FM伝送方式)

① 多チャンネル方式

最大4チャンネルの信号が伝送可能であること(明星電気製 TRM-812, RCV-812)。ただし、1チャンネルあたりの変調幅は1/4となる。

② 単チャンネル方式

1チャンネル専用の機器であること(瀬戸製型名なし)。この場合は、サブキャリアーの変調幅を可能なかぎり大きくとることによりダイナミックレンジを稼ぐ。

(デジタル方式による伝送機器)

これらは各々2箇所の中継用観測点のために使用される。PCM伝送方式の伝送速度は以下に示すように設定される。

PCM (4ch) : 4800(bps) (10 bit) (HAMM~ABSH 観測点間)

(明星電気製 GTA-34 型)

PCM (10ch) : 14400(bps) (12 bit) (ABSH~CENTER 観測点間)

(明星電気製 GTA-45 型)

2) 測定周波数範囲

0.1-25 Hz (-3 dB)

3) 定格信号出力

+/- 5 V (Full scale)

4) 信号増幅度

12~72 (dB) 6 dB step

5) 電源装置

(観測点)

太陽電池 : 12 V / 45 W 2 個

鉛蓄電池 : 12 V 100 Ah 1 個

(中継観測点) (HAMM)

太陽電池 : 12 V / 45 W 4 個

鉛蓄電池 : 12 V 210 Ah 1 個

(中継観測点) (ABSH)

太陽電池 : 12 V / 45 W 12 個

鉛蓄電池 : 12 V 600 Ah 1 個

6) 地震計 (上下動成分)

型名 : JC-V100-1D (V)

(MARKRAND CO., LTD)

可動コイル速度型

固有周期 : 1 秒

感度 : 4.5 V/kine (open)

制動定数 : h = 0.70

内部抵抗 : 10 (KΩ)

制動抵抗 : 100 (KΩ at h=0.7)

7) 地震計 (3成分型)

型名 : JC-V 100-3 D

(MARKRAND CO., LTD)

固有周期 : 1 秒

感度 : 3.2 V/kine (open)

制動定数 : h = 0.70

内部抵抗 : 5.3 (KΩ)

制動抵抗 : 42 (KΩ at h=0.7)

8) 無線機の送信電力 : 1 (W), 50 (Ω)

9) 送受信アンテナ

観測点 : 5 素子八木アンテナ

中継点 : 8 素子八木アンテナ

10) 使用無線周波数帯 : 400 MHz 帯

11) 使用温度範囲 : -10°C ~ +50°C

3. ハルガダ集中局の概要

ハルガダ集中局は、ABSH, SHDW, UMDL の波形データを受信している。すべてのチャンネルデータはいったん D/A される。また、それらのデータは GPS 時計のシリアルデータとともに収録装置、解析装置に送られる。これらの波形データは収録装置側で再度 A/D 変換 (12 bit) される。

1) 受信装置

① FM 受信機 2 式

受信チャンネル数 : 3 ch (SHDW),
1 ch (UMDL)

② PCM 受信機 1 式

受信チャンネル数 : 10 ch

現在、総収録チャンネル数は 14 ch である。

2) 刻時装置

受信システム : 4 衛星受信方法

時刻精度 : ± 100 マイクロ秒以内

出力コード : シリアルタイムコード
(IRIG 準拠), フォーマット B/C

3) モニター出力 (D/A) : アナログ電圧出力

± 5 V (full)

4) 多チャンネルペン書き記録計

記録幅 : 20 cm \times 30 cm 2.5 cm FS/ch

記録の制御 : トリガー起動/連続

5) ドラムタイプペン書きレコーダー : 3 sets 感度 : 20 mm/Vp-p

6) バックアップ電源

出力容量 : AC 100 V \pm 10 V 3 KVA (30 分)

表 4 はハルガダ観測網の観測点座標、表 5 は同観測網の観測点機器設置状況を示す。図 49 は総合周波数特性、図 50~59 は各観測点機器設置仕様、図 60 は各観測点間の見通し図 (電波伝播用)、図 61~64 は最近の同地域の地震活動と波形記録例、図 65~79 は各観測点機器設置状況を示す。図 80 は旧ヘルワン研究所前での関係者のスナップ写真、図 81 はヘルワンの新しい研究所である。

4. 予算について

ハルガダ観測網構築のための予算は、機材費約 8800 万円であった。その他、車 2 台、機材搬送費、日本からの調査派遣費用、エジプト側技術者の日本での研修費用がある。

表 4. ハルガダ地震観測網の観測点座標.

station name	station code	longitude	latitude	elevation
HAMAM MOUSA	HAMM	33° 34.67' E	28° 16.58' N	241m
ATOT MOUNTAIN	ATOT	33° 51.62' E	28° 10.10' N	200m
MAZERIA	MAZR	33° 59.69' E	27° 55.75' N	200m
GEBEL EL-ZEIT	ZEIT	33° 30.97' E	27° 52.37' N	100m
GEBEL ABU SHAAR	ABSH	33° 37.25' E	27° 22.08' N	220m
WADI UM-DALFA	UMDL	33° 39.10' E	27° 05.16' N	100m
GHARAMOUL Mt.	GHAR	33° 07.20' E	28° 02.40' N	350m
SHARM EL-SHEICH	SHRM	34° 15.47' E	27° 51.12' N	300m
SHADWAN ISLAMD	SHDW	34° 01.93' E	27° 27.53' N	200m
NABQ	NABA	34° 25.03' E	28° 03.89' N	200m
HURGHADA (no sensor)	HURG	33° 46.21' E	27° 16.88' N	15m

表 5. ハルガダ地震観測網の観測点機器設置状況表.

ABSH および HAMM は PCM 方式. Radio margin とは受信機が特性を維持するための最低入力値に対する余裕値.

Station code	Sensor No.	Comp.	Pre-amp gain(db)	TX freq. (Mhz)	Antenna element	Line radio margin
(Relay stations)						
ABSH	941001	UD	54	363.100	8	33 db
(3 comp.)		NS	54			
		EW	54			
HAMM	9413025	UD	54	409.025	8	10 db
(other stations)						
ZEIT	9413021	UD	48	402.625	5	28 db
UMDL	9413020	UD	??	402.675	5	
GHAR	???????	UD	??	402.825	5	
ATOT	9413006	UD	60	402.650	5	>63 db
MAZR	9413008	UD	60	402.700	5	35 db
SHRM	???????	UD	??	402.600	5	
(3 comp.)		EW	??			
		NS	??			
NABA	???????	UD	??	402.775	5	
SHDW	???????	UD	??	402.750	5	

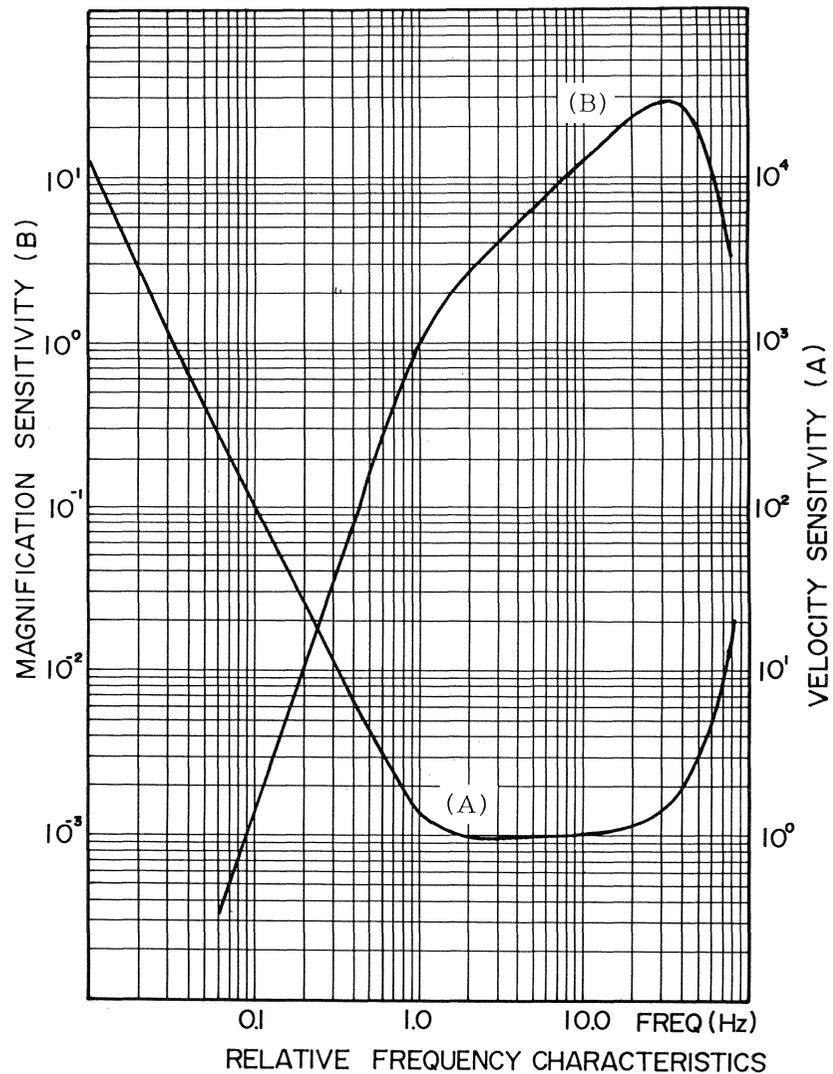
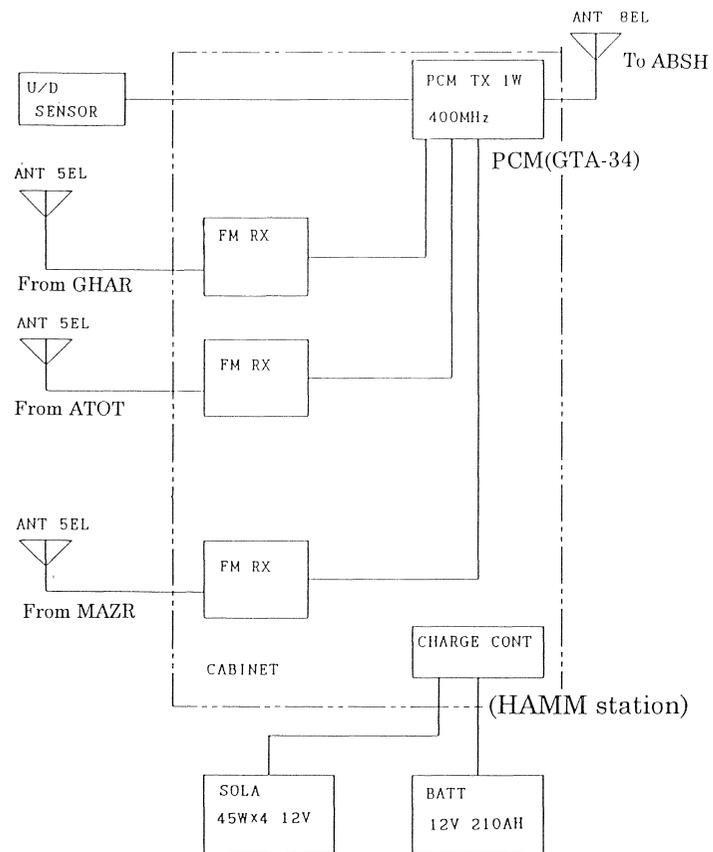


図 49. 地震テレメータ観測システムの総合周波数特性。
 (A) 速度感度を 10 Hz の値に対する相対値として表した場合。(B) 変位感度を 1 Hz に対する相対値として表した場合。



Block diagram of the PCM(GTA-34) type telemetry system
 (HAMM station)

図 50. HAMM 中継観測点の機器構成。
 シナイ半島側 3 観測点の上下動と自局の上下動が、PCM 方式テレメータにより
 ABSH 中継局に送られる。明星電気杉山の図に加筆。

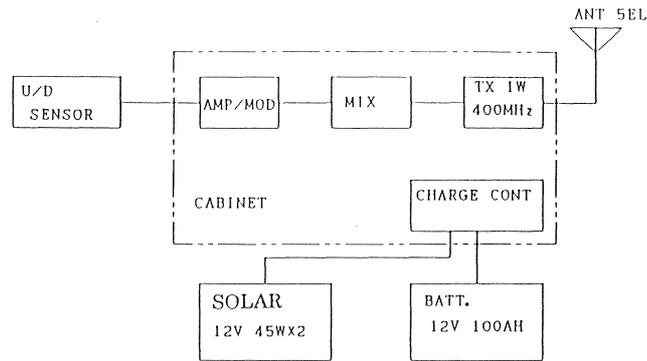
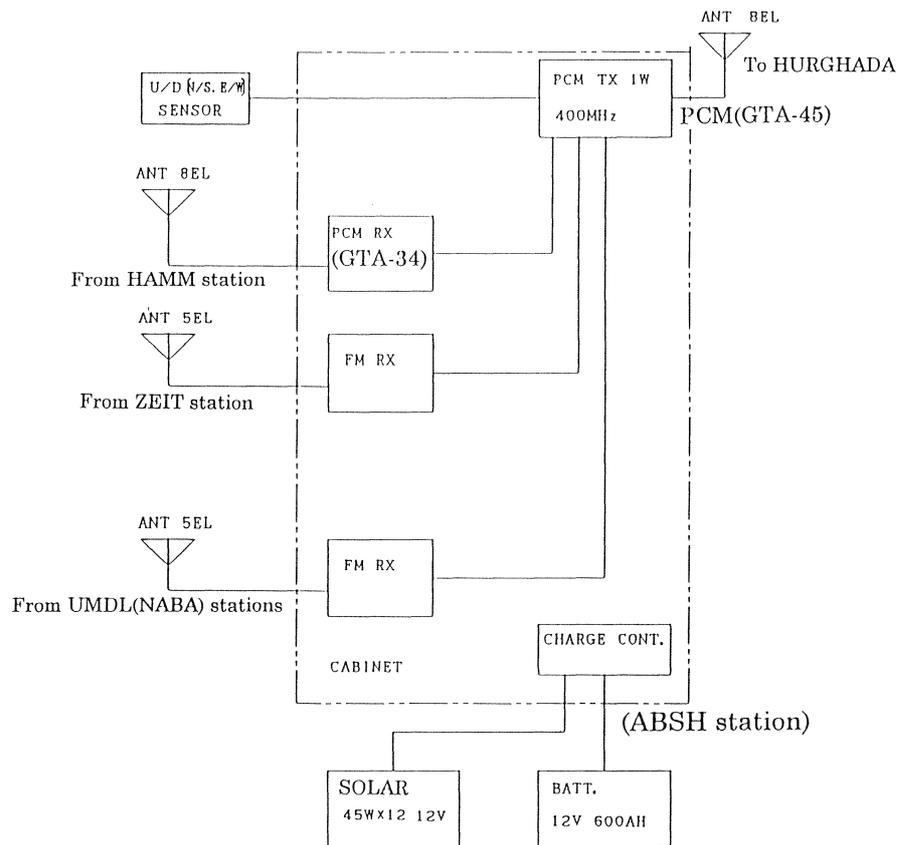


図 51. FM-FM 方式観測点の機器構成.

実装は 4ch である. このうちの 1ch を使用. したがってサブキャリアーの変位幅は小さくなり, 1ch 専用の変調器に比べダイナミックレンジは落ちるが, メンテナンスと将来のチャンネル増設を考えて 4ch に統一した. 明星電気杉山の図に加筆.



Block diagram of the PCM(GTA-45) type telemetry system

図 52. ABSH 中継観測点の機器構成.

HAMM の 4ch と ZEIT の 1ch, SHRM, NABA のそれぞれ 1ch がハルガダ集中局に送られる. HAMM~ハルガダ間は PCM 方式テレメータによる. 明星電気杉山の図に加筆.

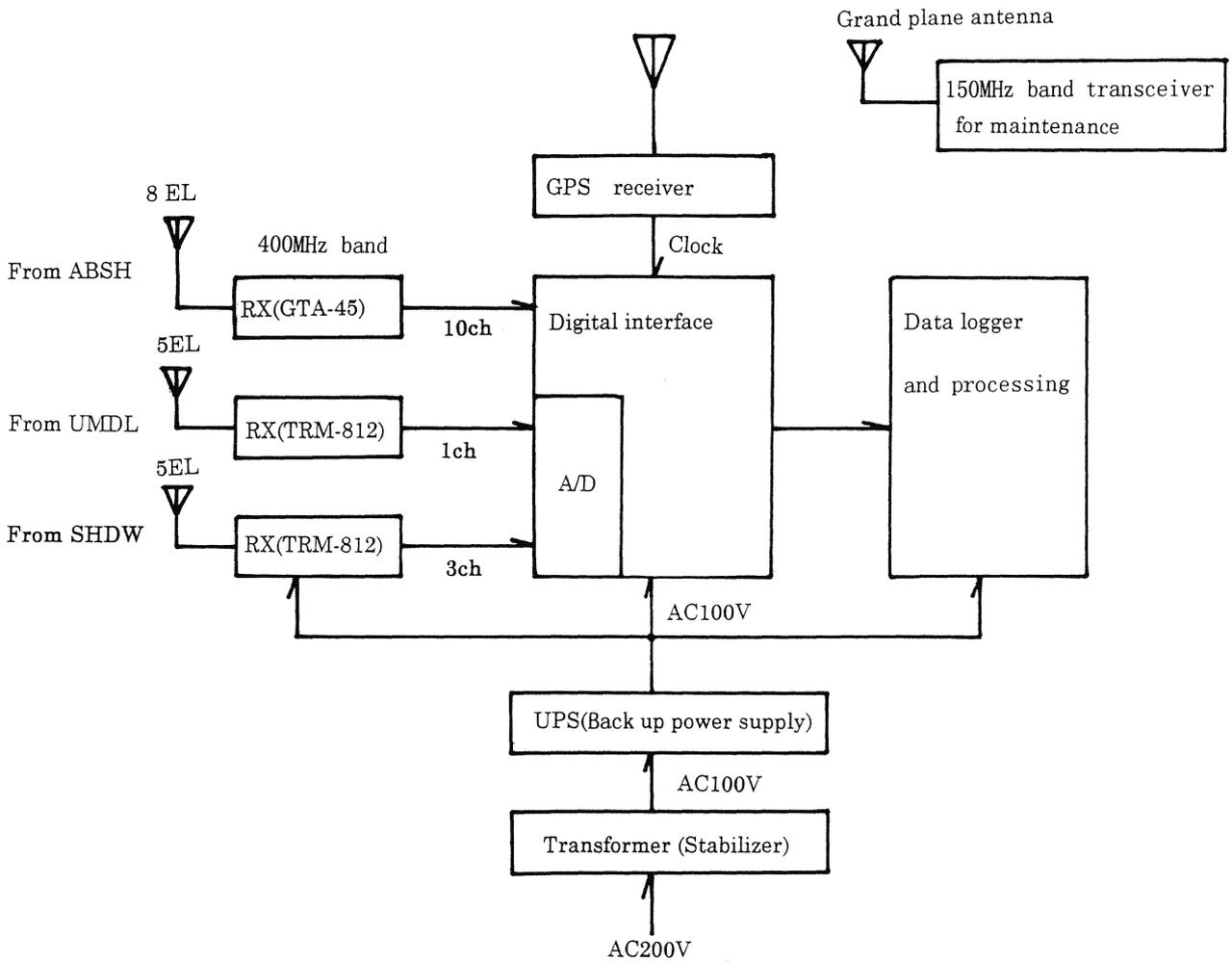


図 53. ハルガダ集中局の機器構成。
 ABSH, UMDL, SHDW からの波形データは GPS 時計により時刻データ (スローコード) が付けられ、モニターレコーダーおよび収録システムに送られる。収録時はさらに出力される。150 MHz アンテナはメンテナンス用で、ほぼ全観測点と連絡可能。明星電気杉山の図に加筆。

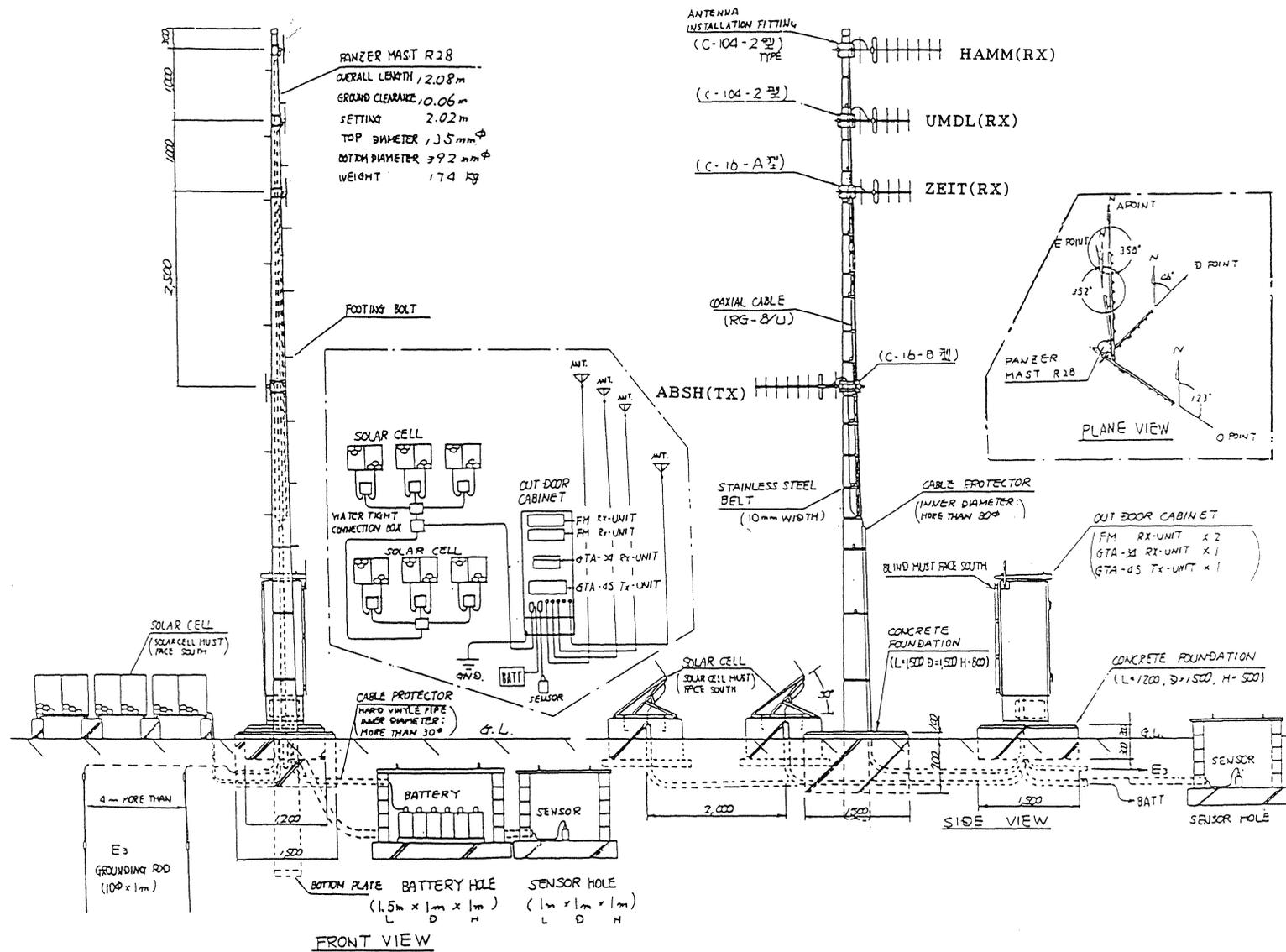


図 55. HAMM 中継観測点のための機器設置仕様詳細。
 HAMM 観測点は周辺 3 観測点と自局のデータの中継して対岸の ABSH 観測中継点に送られる。このため FM-FM 方式と違い、別に機器の収容架を用意した。従って太陽電池も 50 W4 枚使用している。他の仕様は図 54 に同じ。明星電気杉山の図に加筆。

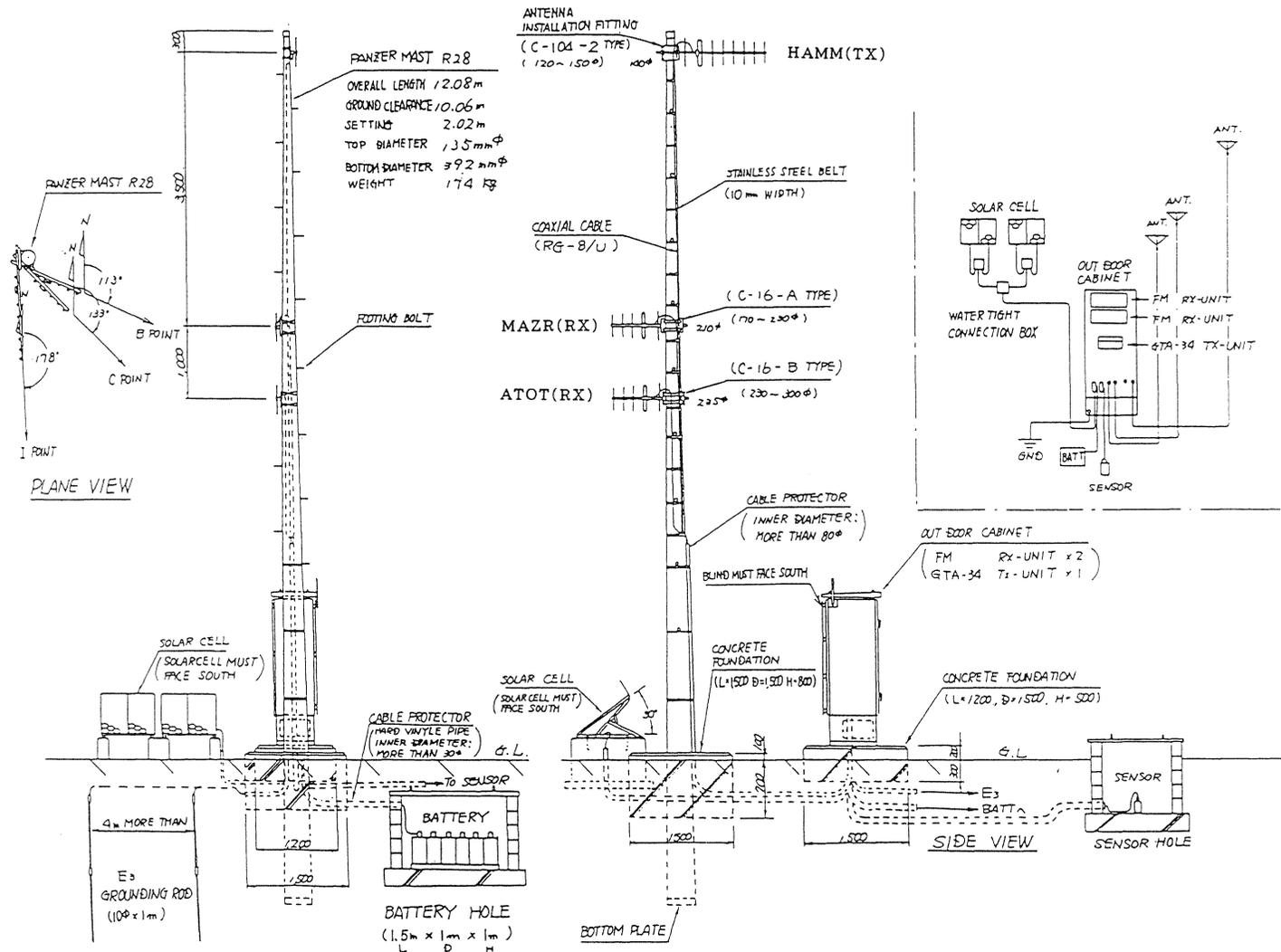


図 56. ABSH 中継観測点のための機器設置仕様詳細。

ABSH 観測点（標高約 200 m）は、対岸の HAMM 観測中継点からのデータと自局のデータ 3 成分、他 2 観測点のデータの中継してハルガダ集中局に送る重要な観測点である。(a) は前面から見た機器設置仕様図、(b) は側面から見たものである。太陽電池は 12 枚（各 50 W）。地震計はパンザマストから約 100 m 離れた地下にある。バッテリー（200 Ah 2 V 6 個）も埋設されている。明星電気杉山の図に加筆。

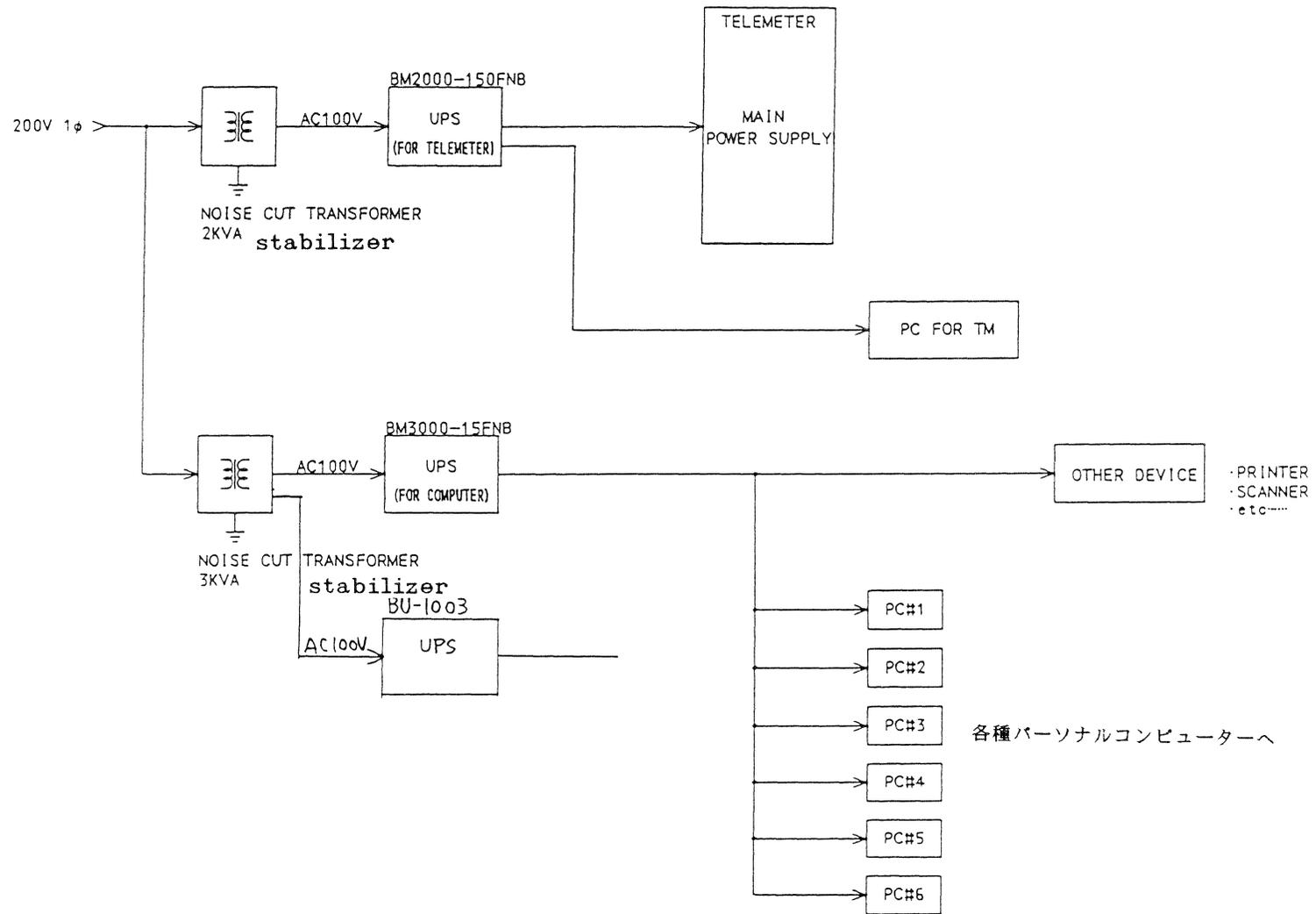


図 57. ハルガダ集中局内電源設備.

集中局内の電源は負荷に対する安定度が悪いので、前段に安定器（最大30%程度の電圧変化を安定させることが可能）用トランスを設置し、その後でUPSを使用し停電に備える。負荷はテレメータ観測装置、各パーソナルコンピュータである。電圧は初段の安定器用トランスで200Vから100Vに落とされ、使用される。明星電気杉山の図に加筆。

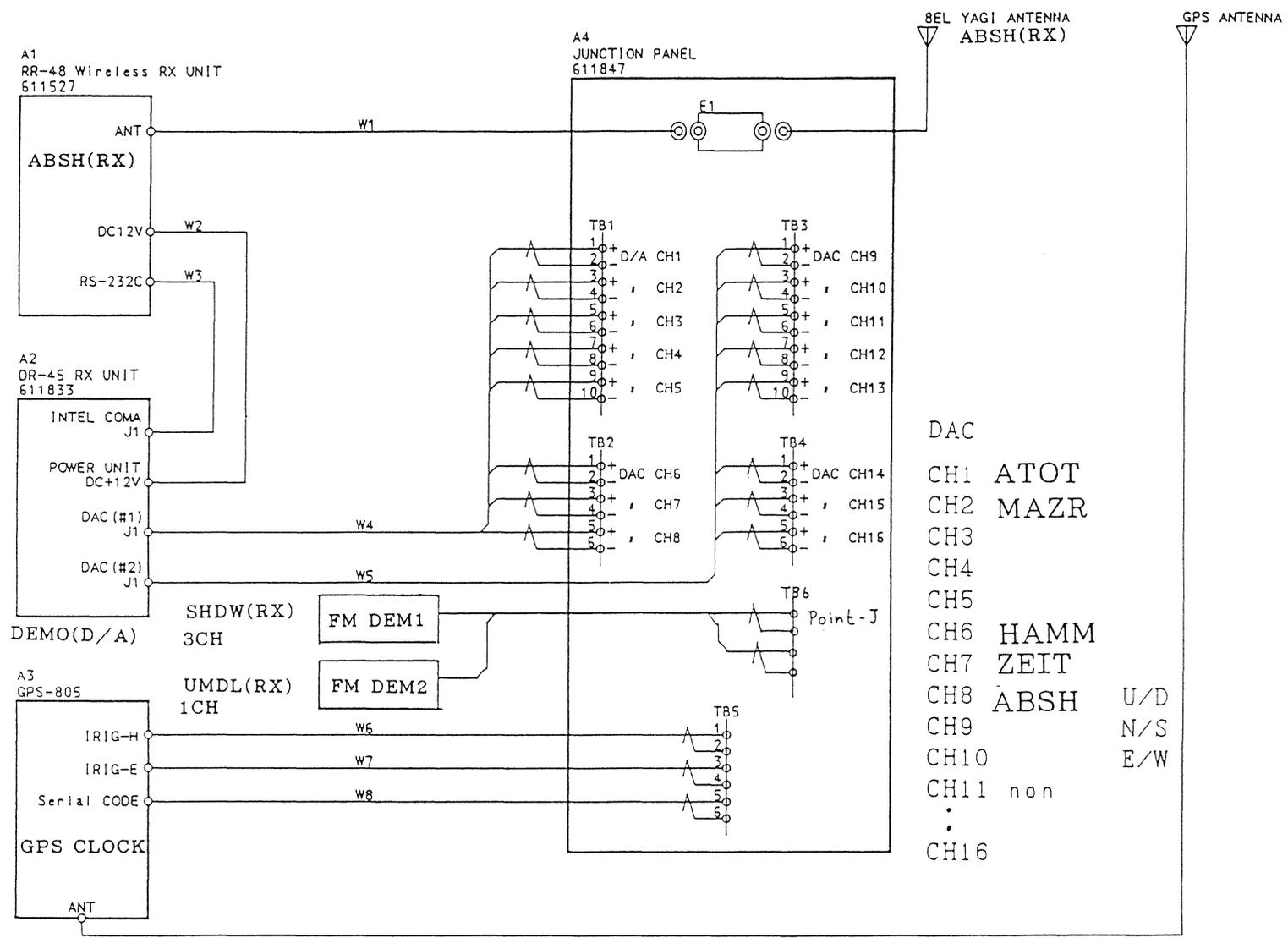


図 58. ハルガダ集中局内配線系統図。
 ABSH 用受信器，そのデモジェレーター，GPS CLOCK, SHDW 観測点用受信機，UMDL 用受信機の出力を所定の端子盤に接続し，計 16ch の出力及び時計出力が得られる。明星電気杉山の図に加筆。

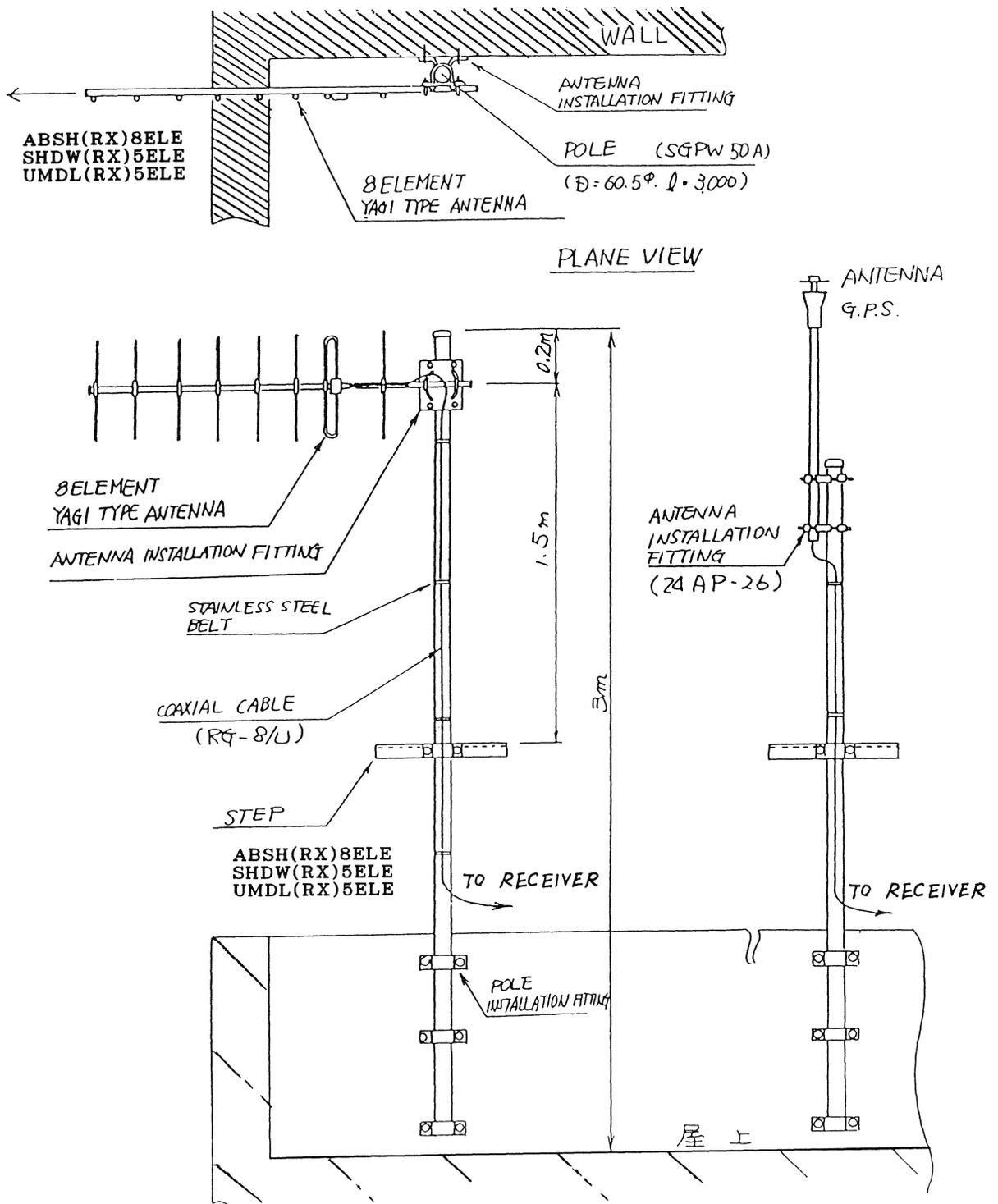


図 59. ハルガダ集中局屋上のアンテナ取り付け仕様。

左のポールが ABSH 観測点用アンテナ。このほか、このポールに SHDW, UMDL 用アンテナが付加された。右のポールは GPS 時計用アンテナである。上段の図は平面図。

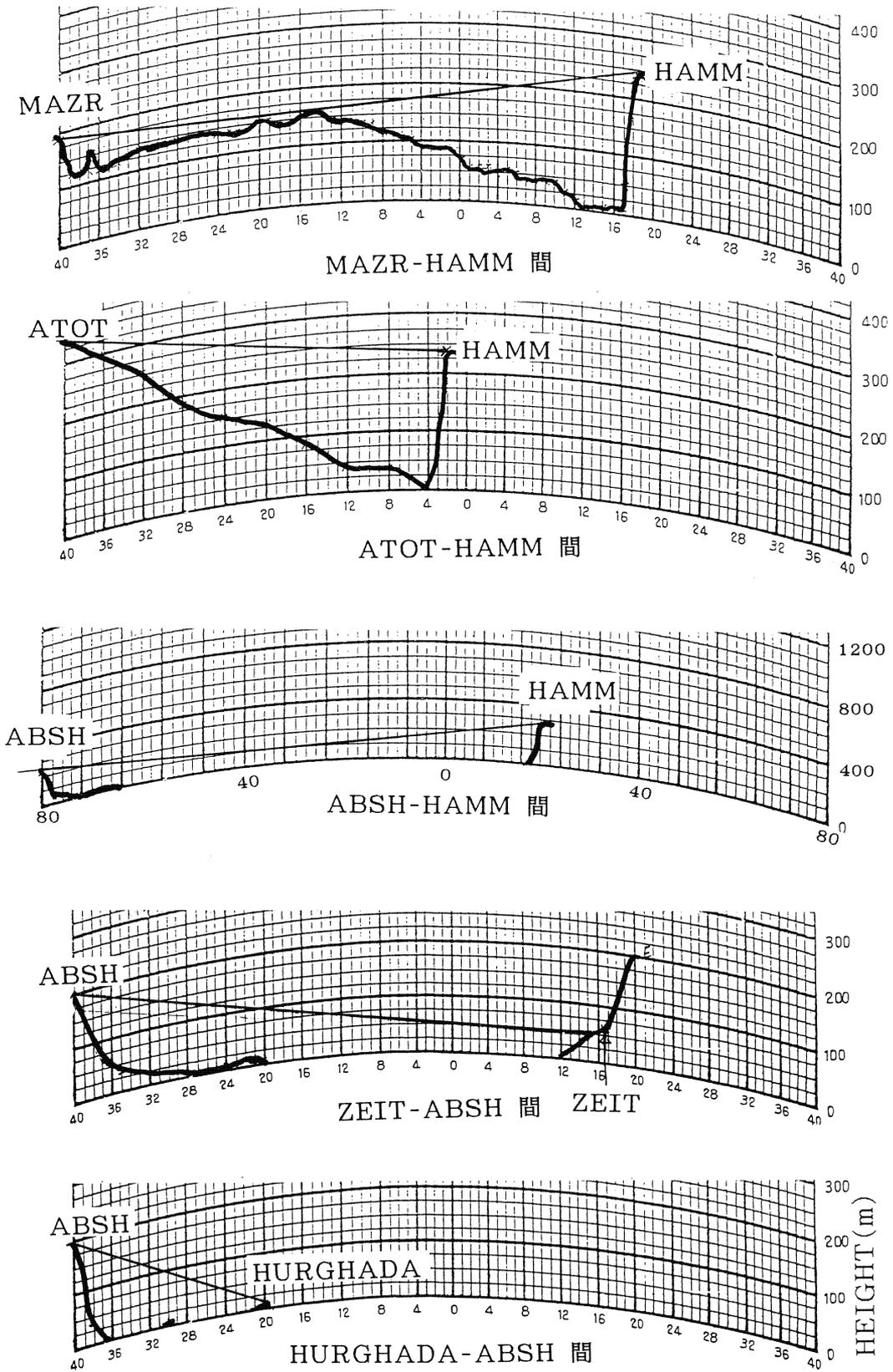


図 60. 回線設計のための各観測点間見通し図.
横軸は送信点～受信点間距離 (km), 縦軸は高さ (m).

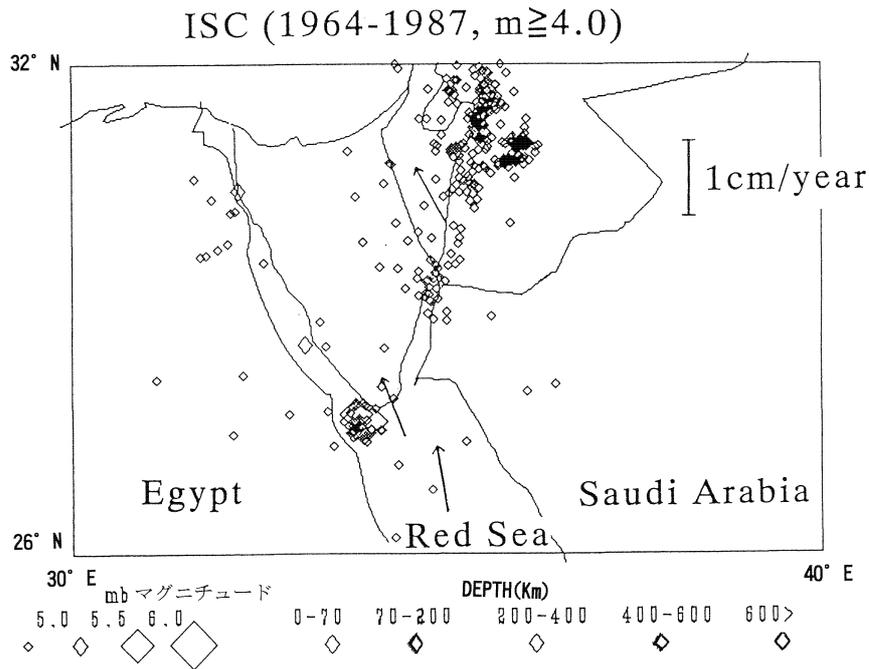


図 61. 国際地震センター (ISC) が決めた震央分布 (1964~1987)
(図は古川による).

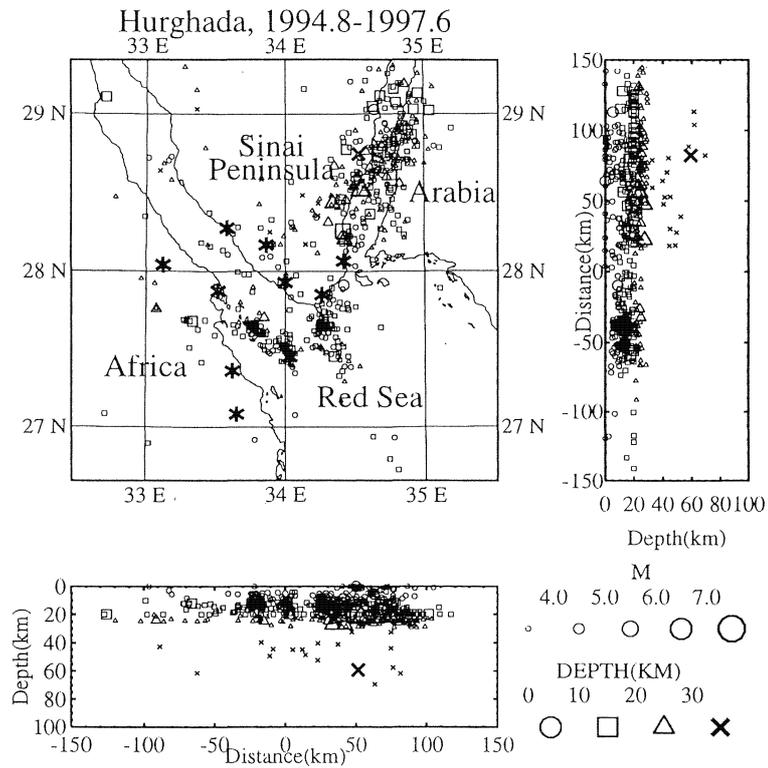


図 62. ハルガダ地震観測網ができてから最近までの震源分布。
震源は同観測網のデータを使用し, NRIAG が決定した (図は古川による).

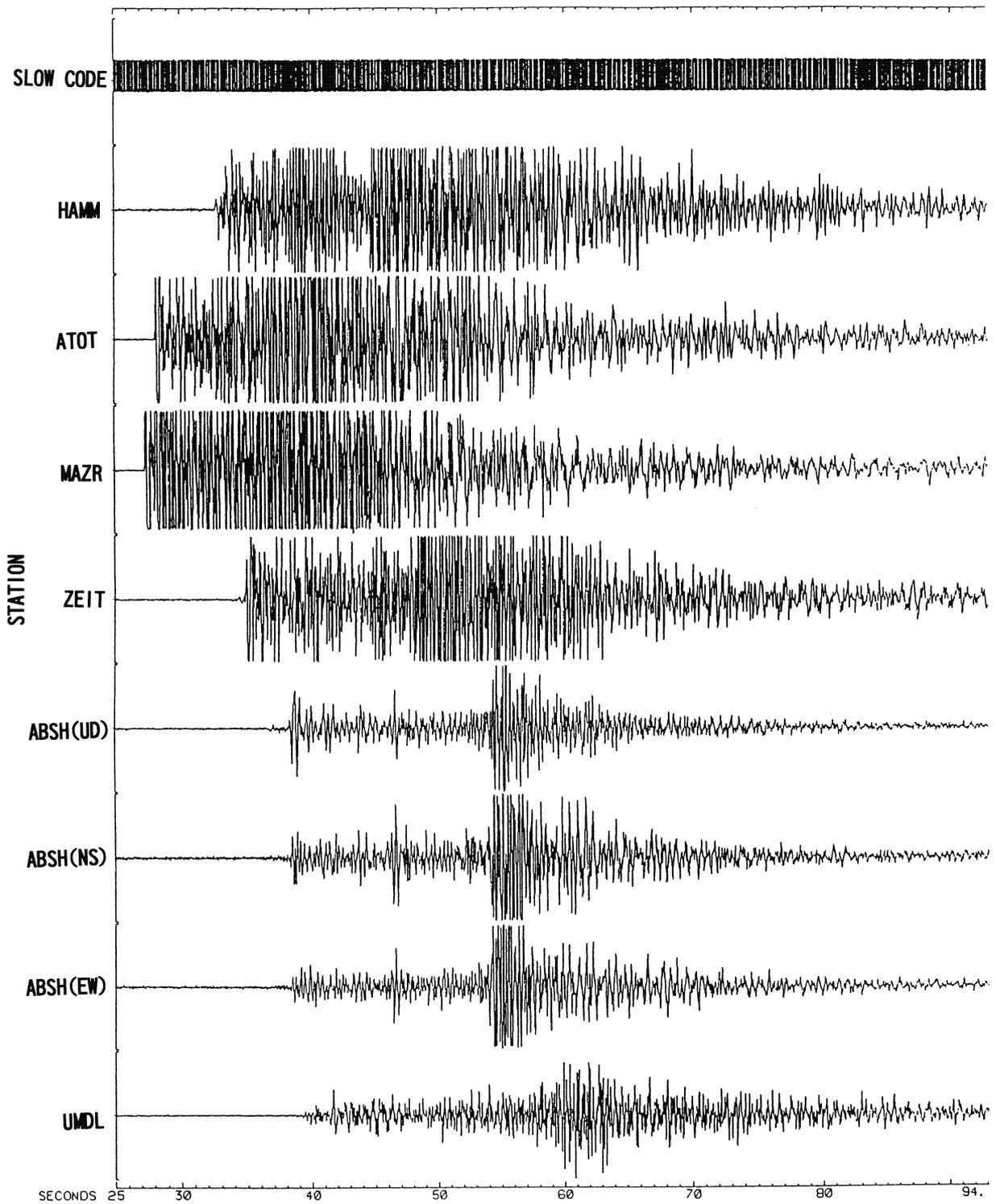


図 63. アカバ湾に発生した地震の波形。

1994年08月19日13時00分の地震。震源は28.170 N, 34.546 E, $d=9.10$ km, $M3.8$ 。横軸は時間(秒), 縦軸は記録上からスロー・タイムコード。以下4観測点(HAMM, ATOT, MAZR, ZEIT)上下動のみの記録とABSHの3成分, UMDLの上下動。

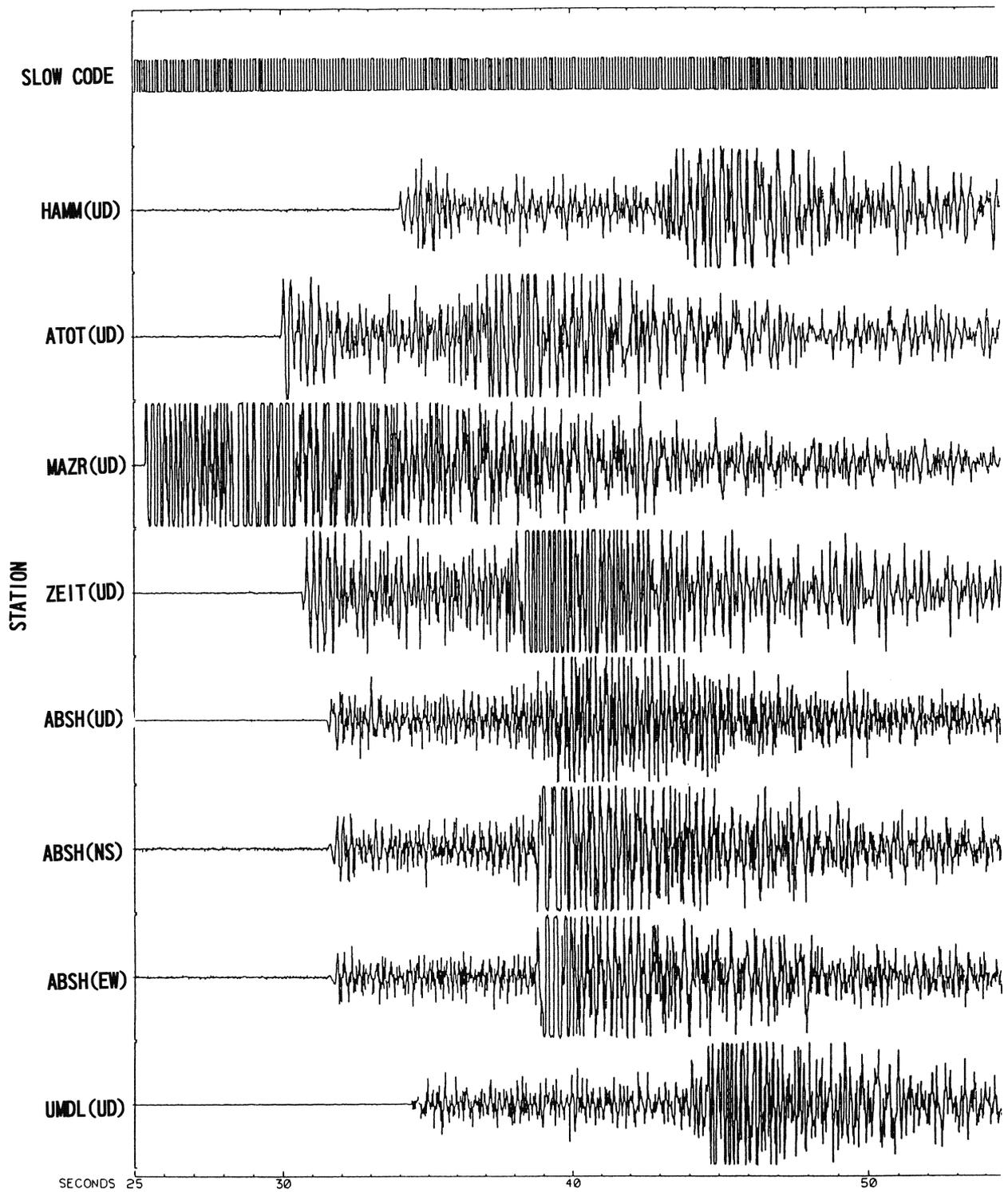


図 64. スエズ湾に発生した地震の波形記録.

1994年09月26日17時27分の地震. 震源は 27.905 N, 34.757 E, d=18.4km, M3.6. Red Sea. 横軸は時間 (秒), 縦軸は上からスロー・タイムコード. 以下4観測点 (HAMM, ATOT, MAZR, ZEIT) 上下動のみの記録と ABSH の3成分, UMDL の上下動.

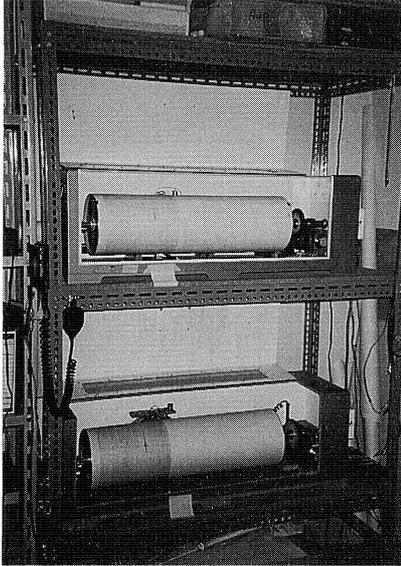


図 65. ハルガダ集中局内ドラム記録。モニター用として2点の連続記録がとられている。

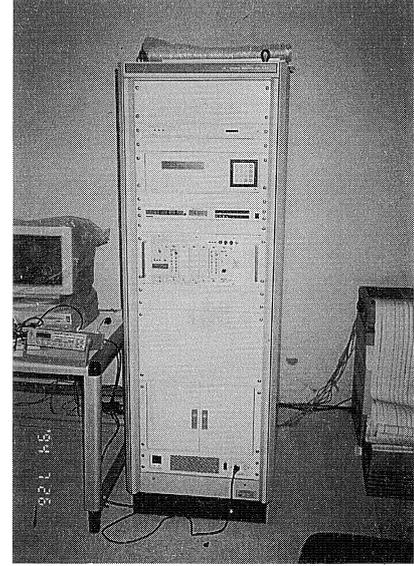


図 66. ハルガダ集中局内GPS時計、受量器、モニター(D/A)、右端は感熱記録器。



図 67. ハルガダ集中局内収録システム。

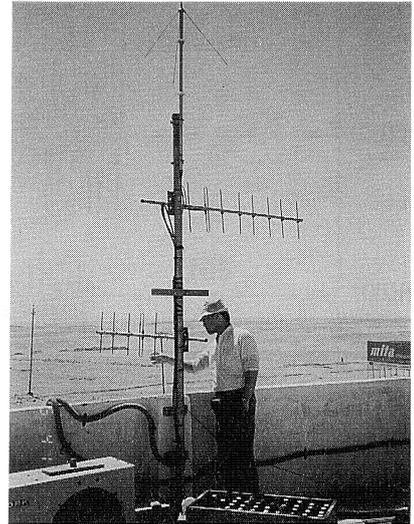


図 68. ハルガダ集中局屋上のアンテナ。上から150 MHz帯連絡用アンテナ、対ABS H用アンテナ、対UMDL用アンテナ。

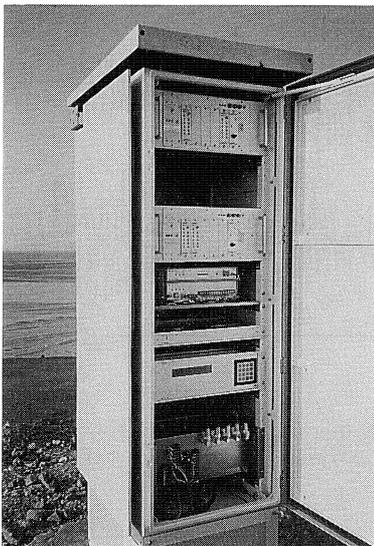


図 69. ABSH中継観測点の受量器。上からZEIT用、SHDW用、HAMM用各受量器。最下段はハルガダ集中局向け送量器(GTA-45)。

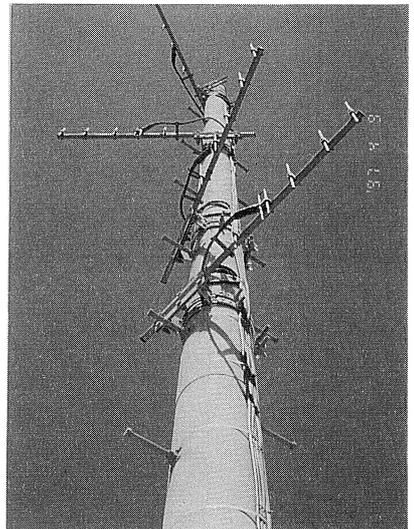


図 70. ABSH中継観測点のアンテナ群。

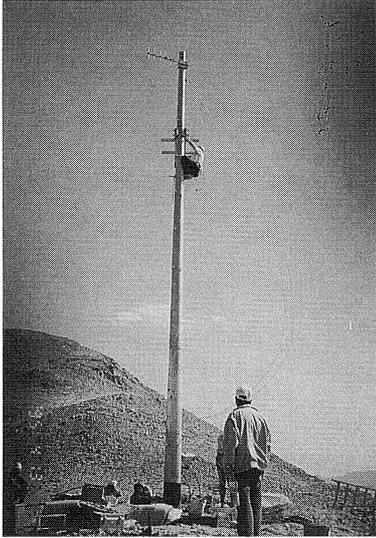


図 71. GHAR 観測点 (FM-FM 型上下動 1ch).

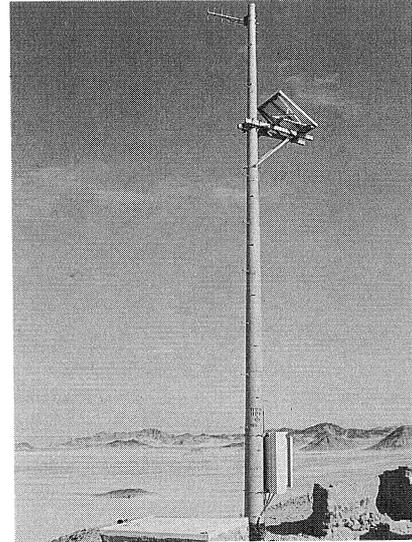


図 72. UMDL 観測点 (FM-FM 型上下動 1ch).

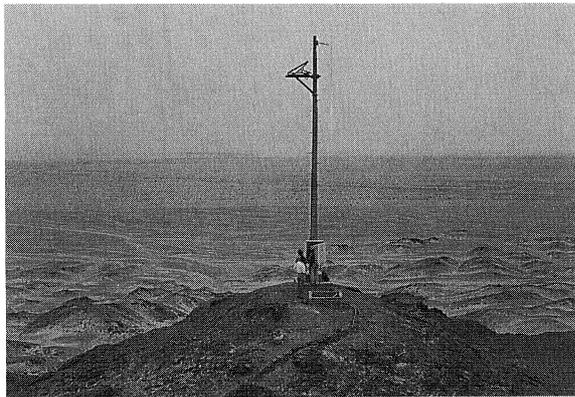


図 73. MAZR 観測点 (FM-FM 型上下動 1ch).

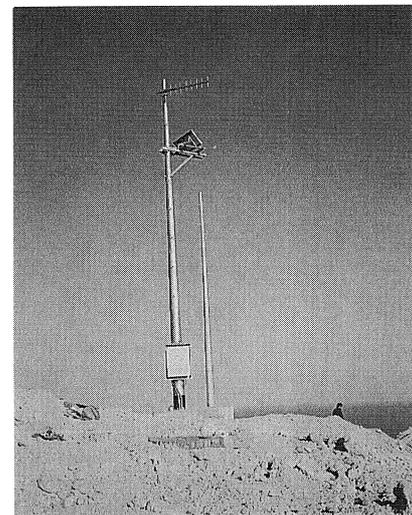


図 74. SHRM 観測点 (FM-FM 型上下動 1ch) と、後方のパンザマストの受信機で NABA 観測点を中継し、合わせて 2Ch で ABSH に送る。

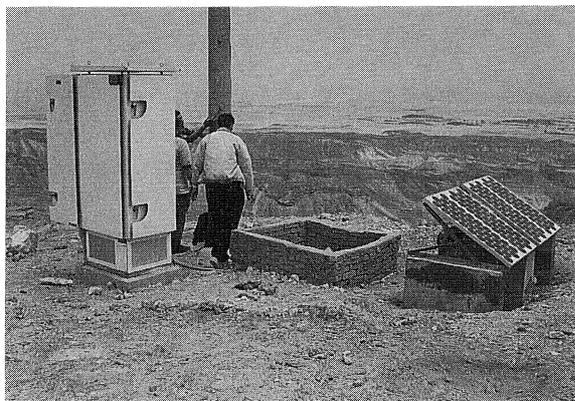


図 75. HAMM 観測点は約 200 m の高台にあるため、他の 3 点の中継機能と自局のデータを ABSH 観測点に送る機能を持つ。近くに温泉があり、モーゼが使ったとの言い伝えがある。

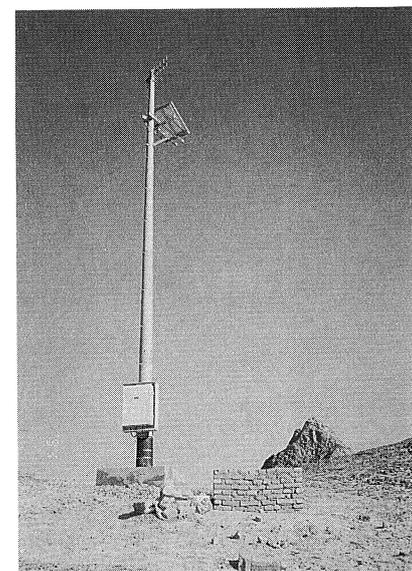


図 76. ATOT 観測点 (FM-FM 型上下動 1ch).



図 77. ZEIT 観測点 (FM-FM 型上下動 1ch).



図 79. NABA 観測点 [FM-FM 型送信機 (瀬戸製)]. この送信機は 1ch 専用機であるので, ダイナミックレンジが 4Ch のものより大きい.



図 81. 新ヘルワン研究所. 建物屋上に ENSN (Egyptian National Seismograph Network) のための受信用アンテナが見える (150 MHz 帯アンテナ, なぜかダイポールタイプ).



図 78. NABA 観測点 (FM-FM 型上下動 1ch). この観測点は NRIAG 独自で設置した. SHRM と ABSH の 2 つの中継点を通して伝送される.



図 80. 旧ヘルワン研究所所長室前にて. 前列左から, ヘシャム, 藤井陽一郎, 瀬戸憲彦, ムスタファ, デソーキー, 後列左から一人置いてファッカル, マルズーク, イブラヒム, フセイン.

エジプト滞在余話

約5年の年月がかかったとはいえ、ハルガダ地震観測網は当初の期待以上の設備が完成した。エジプト国内には全国的な観測網はまだ計画途上にあり、目下のところでは、このハルガダ観測網が最新の設備となった。この計画は日本側（JICA）の全面的な援助があっただけでなく、観測機器の提供とは別に、共同作業を通じてエジプト側にもたらした技術援助という意味でも大きな成果があったと思っている。この観測網に先立ち、1982年同国南部のアスワン地域にテレメータ観測網がアメリカ合衆国の援助で作られているが、その建設はほぼアメリカ合衆国のプランで短期間に作られたものであり、研究の継続という意味ではエジプト側に今回ほどには大きな影響を残さなかったように思える。今回、地震研究所より参加した5名は各地の調査や建設に際して、エジプト側の参加者と寝食を共にすることも多く、専門的な話題は言うに及ばず日常生活から文化、宗教、政治など両国の社会事情全般に関して知識、意見の交換、時には激しい争論に至ることもあった。また、我々も直接の関係者は勿論のこと、カイロ空港に始まり、そこを離れるまでに多くの人と係わりを持つ中で、日本国内では得られない貴重な体験を味わうことになった。日時を経た今日でも強い印象が残っているが、派遣の時期も異なり、また多くの場合個別に行動することが多かったため、個人的にしか知らない話も多く、滞在中の印象も各人各様である。余話としてそれらの一部を紹介する。

1. エジプトとは

国土は日本の約2.3倍の面積があるが大部分は砂漠が占め、主な居住区はナイル川流域の約3%に過ぎない。この地には古代エジプトの遺跡が数多く存在し、またイスラム教、キリスト教、ユダヤ教等の各聖地、モーゼが十戒を授かったというシナイ山など数多くの名所があり、文化面においても魅力あふれる国である。

日本は、開発援助提供国の主要5ヶ国に含まれており、その年間援助額は100億円前後であり、1973年以來の優遇貸付けの合計は6550億円にのぼるとされている（エジプト大使館提供）。1952年、ナセル大統領が実質的にエジプト国家を設立して以来、サダト大統領の時代、今日のムバラク大統領の時代に引き継がれてきた。その間の第3次中東戦争や第4次中東戦争の遺産が我々にとっては役立った。すなわち、当時作られた道路、塹壕がパンザマストの穴など観測点建設のためにたいへん役に立ったということである。なお、エジプトは産油国ではなく農業国であるため財政的に厳しく、3~4%の人々は近隣の産油国への出稼ぎに頼っている。このことはNRIAGも例外ではない。最近の援助で最大のものとして、スエズ湾に新しい橋を架ける計画が進んでいるとのことである。

2. イスラム教のこと

イスラム教における移動祝祭日とはイスラム暦（預言者ムハンマドがメッカからメデューナに移住した年を紀元元年としたもので、太陽暦からずれる）で行われるお祝いの日であり、年によって移動する。特にラマダン明けのお祝いは我々にもなじみ深いものである。この期間中は重要な仕事は避けるのが常識であり、我々が訪れる時期の選択ではたびたび問題となった。

現在エジプト人の大半はイスラム教徒である。我々の同行者も大半はイスラム教徒であったが、教授の1人はキリスト教信者であったため、同宿した際には、ベッドの傍らで皆が礼拝を続ける中で一人本を読んでいるということもあった。イスラム教の休日は金曜日であり、このゴマデイが我々の感覚でいう日曜日に置き換わるのである。イスラム教の礼拝は日に5回だが、起床後と就寝前は欠かさずとも他の3回は臨機応変に処理しているようであった。旅行中や共同作業中は義務を解かれるということで、走行中などに敢えて止まることはなかった。しかし、午後3時にラジオ番組は祈りの時間に入る。ある時、サッカーの放送中、車内が両チームに分かれ応援合戦で興奮していたが、突然放送が切り替わり、一瞬にして車内の空気が変わったことがあり、これが宗教の力なのだと思ったことがある。我々も以心伝心で状況を心得るようになり、礼儀として礼拝の時間帯にはモスクに立ち寄るとか作業を一休みするとかした。それでも、各人それぞれにホロ苦い経験を味わうこともあった。

また、驚かされたことの一つは、交渉相手である重要人物が、次回には顔を見せないことがあったことである。聞いてみると、“彼はメッカに行った”ということであった。このメッカに行くというのは単にイスラムの聖地を訪れるということだけではなく、一生問題として生活設計を変える、例えば根本的な転職などを意味するという重い意味であり、交渉の障害となったこともあった。なお、エジプトの経済を支える1つは観光収入である。対象となるモスク（イスラム教寺院）もあったが多くは古代エジプトの遺産であり、案内してくれた相手がどのように感じているのか興味を持った。しかし、明快な答は得られなかったように思う。

3. ヘルワンの研究所（NRIAG）のこと

ヘルワンの国立天文地球物理研究所（NRIAG）はカイロ市南方約25kmのヘルワン市の東、石灰岩の丘陵地であり、住宅地から少し離れて建物群がある。この海拔は約120mであり、ナイル川とは約100mの高度差がある。この研究所には次のような前身がある。アラブ世界はイスラム教国で、天体の運行表の作成は大切な業務であった。1840年にはナポレオン統治下、カイロの西ブウラック（Boulq）に天文観測所が作られている。これは1860年に

閉鎖され、1868年にカイロ東部のアダッシア（Addasia）に新たな天文観測所が作られ前世紀末まで機能していた。しかし、地磁気分野の観測が導入される際に、カイロに電気鉄道が施設されることによる影響があり、またカイロ市に人工的な光源が増えたことから天文観測に不都合が生じた。このためヘルワンが代替地に選ばれ今日に至ったということである。

この研究所は1903年の創立であるが、現在は天文関係3部門と地球物理関係3部門がある。地震観測については創立以前の1899年から始まっている。地球物理部門では、以下のように多岐にわたった内容の研究を行っている。

近地地震や局地地震の震源距離の研究。

歴史地震とその分布についての研究。

地震のおよぼす危険度と地震活動の研究と査定。

人工湖の影響によって生じる地震についての研究。

自然地震と地下核実験による地震波を区別する方法。

最近の地殻変動の監視と調査研究。

ナセル湖周辺での地下水位の監視と調査研究。

地球深部を通過する地震波を使った地殻および上部マントルの研究。

重要な構造物を持つ地域の地震活動と地震加速度が建物に及ぼす影響

地震学と関連する分野において、協議して国家機関を整備していくこと。

エジプト国内各地域での微小地震の現地調査。

NRIAGは国の機関であり、約200名が勤務しているとのことであるが、目立った大型設備はなくこれだけの人数がどこでどのような仕事をしているのか不思議に思われるほどだった。国としては、低賃金でも雇用の機会を多くするという政策だったかもしれない。通常、職員の給料は平均して、約100~200LE（エジプトポンド、1997年現在1LEは27円）である。ちなみに、JICAお抱えの運転手が300LEと待遇が良い。総じて公務員は低賃金であるが勤務は朝9時~昼2時頃までであり昼食は帰宅後となる。最初に日本から来た人は時差と時間感覚の違いに戸惑う。勤務中もお茶や議論の時間が多く、のんびりした印象が強い。それ以降は自由であることから、適当なバイトに励むことも可能である。ただし、このことは出張などがあると厄介なことになる。午後2時以降仕事をする場合は相当な根回しをしておかないとできない。すなわち、すべての機器すべての部屋に担当する管理者がいて鍵をかけてしまうので担当者がいないとちょっと欲しいものが手に入らないという不便が付きまとうなどいろいろな問題があった。

1990年の第1回目の調査当時に新しい研究所が作られることになり、建設作業が進んでいた。イブラヒム教授は当時、1~2年で完成すると言っていたが結局1997年までかかった。日本では考えられない、のんびりしたものであ

る。基本的には予算が少ないために独自の観測研究ができず、民間のコンサルタントを請け負う、他国からの援助で行動するというのが現状のようである。1992年からJICAによる地震学研修（第3国研修、エジプト側は三角協力と呼称する）が始まり、現在に至っている。これはアフリカ諸国からの研究者、技術者に対する研修をエジプトで行うもので、他に感染症対策、看護教育、稲作、精米処理技術、溶接技術などがある。

4. 新しい地震観測網構想のこと

1992年のカイロ地震発生以後、他のセンサーも含む定期的な地震観測網の構築の必要性が問われ、地震の際の見舞い金などを原資にマム博士の計画のもとにその構築が進んでいる。イブラヒム教授によれば、国内に6センター（アレキサンドリア、ハルガダ、アスワン、アブシンベル、ファユーム、及びアスワンセンター）を作る。各センターはそれぞれ5~10点の衛星点を持つ。各センターからのデータは、有線にてNRIAGに送り、集中処理するものである。機材費だけで約6億円。1997年現在、NRIAGに直接送る回線（無線系、各観測点~NRIAG間距離20~30km）5点が稼働中であつた。完成が楽しみである。第82図は当初のエジプト国地震観測網ENS（Egyptian National Seismograph Network）の計画図である。

5. 気候のこと

エジプトは北部の地中海気候区とカイロ付近の半乾燥気候区、砂漠気候区がある。シナイ半島南部、その対岸であるハルガダは10°~40°Cの範囲であるが、1月などは気温の低下で風邪を引く場合もある。ハムシーンは大陸からの熱波と砂嵐を伴うもので、3月から5月にかけて吹き荒れる。雨はほとんどなく、屋外で地震観測をする者については大いに助かる。特に固定点で使用している太陽電池の効率はいへん良い。

ハルガダを最初に訪れたときゲストハウスのシャワーが使えず、水道局に談判に行ったことがある。約200km彼方からパイプラインで曳いてきたものであるがパイプの割れ目から噴水が立ち、その範囲だけ草が茂っていた。かなり前から放置されていた証拠である。最後の降雨は3年前だったという。貴重である水が目の前に虹を立たせていたが、何とも複雑な心境であった。滞在中はとうとうシャワーは使えなかった。逆に砂漠を走行中に、前日の降雨のため流れ出た水が国道を広範囲に覆っているのに出くわしたこともある。集中豪雨が時として砂漠を襲うこともあり、上空から見る砂漠のワジ模様（涸れ川として流路が残される）が実感できた。

6. NRIAGスタッフとの関係

観測点調査、建設に際し、たくさんのNRIAGスタッフと接してきた。特に数人については、観測網建設終了までの付き合いが長かった。メガヘッド研究員は、このプロジェ

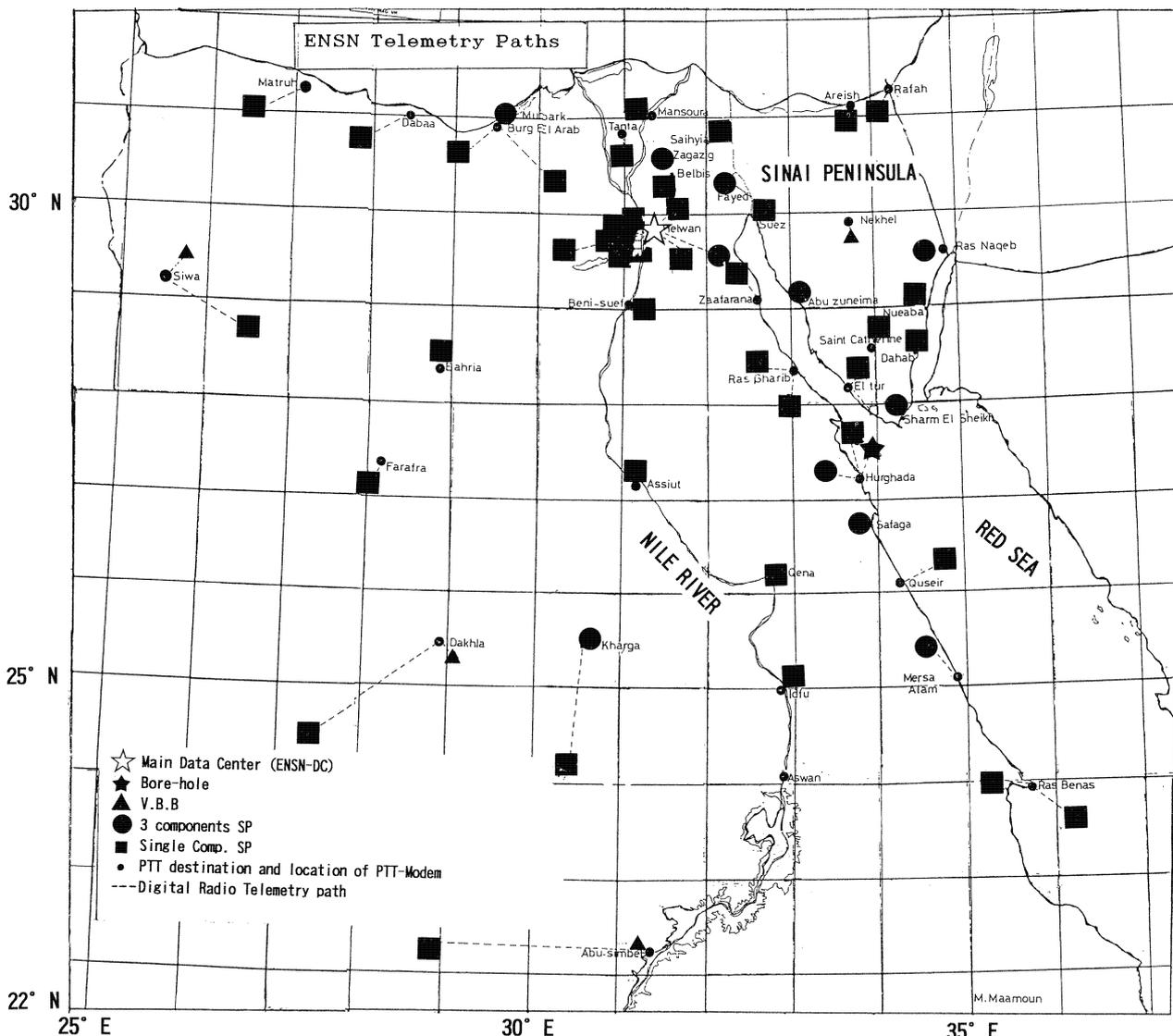


図 82. ENSN (Egyptian National Seismograph Network) 地震観測網 (当初の計画図).

クトの最初からエジプト側スタッフとして中心的な役割を果たしてくれた。常に我々日本側の立場を理解してくれ、協力してくれたエジプト側スタッフとして、また小錦に似た特徴ある体格から特に印象に残る。また、彼は地震研究所に滞在したこともある親日家である。現在サウジアラビアに外出中である (出張と言わないのが妙、帰ったら復職できるよし)。サウジアラビアでは日本側から指導を受けたばかりのパンザマスト建設の指導を行うということであった。

観測点でのパンザマスト建設では比較的身軽な現地スタッフが活躍してくれた。名前をムスタファといい、建設現場において経理および資材調達係を担当していた。彼はまだ学生であると同時に NRIAG の職員を兼務していた。彼はどういうわけかいつも阪神タイガースの帽子をかぶって仕事をしていた。彼の特技は 10 m 近いパンザマストに登ることである。彼の身軽さでパンザマストの建設が順調

に進んだといっても過言ではない。

パジェロの専属ドライバーにガマール氏がいた。1994 年当時年齢 50 歳で、NRIAG の車両関係の責任者である。日本では新車を購入するとディーラーから走行距離が 3000 ~ 5000 km くらいになるまでは乱暴な運転はしないと言われる (慣らし運転である)。彼にとって、そんなことはおかまいなしで鼻歌を歌い、ある時は手拍子を打ちながら 100 ~ 200 km/h のスピードを出す。我々にとっては緊張の連続であったが、砂漠の中での位置をよく把握し、実に運転がうまい。彼は日本から供与された新車のパジェロを前にして一言「この車は私が運転する最後の車であろう。途中で故障や事故により車がだめになったら、その時は私の首はない」と、彼は車に関して責任感の強い男であった。

どこの機関にも、それを影で支えるスタッフがいるものである。ハッサン氏はまさにその立場を貫いた人かもしれない。NRIAG の研究室に行くと、かならず砂糖のトルコ

コーヒー漬け（トルココーヒーの砂糖入りではない、彼らは実に甘いものが好きである）あるいはシャイ（紅茶）を出してくれていた人物である。1997年に再度NRIAGに行った時はすでに引退しており、その子供が茶を出してくれた。パンザマスト建柱のための穴掘りやその他の目的の穴掘りはほとんど彼の手によった。これらの場所は岩盤のためノミとハンマーにしか頼らざるをえず、これを彼が中心となって作り上げた。

7. 食、住、エジプト人のこと

エジプトに比較的長期（1989年11月から3ヶ月）に滞在した調査チームの話から紹介する。ヘルワンとカイロの中間のマーデイにアパートを借りて住んだ。アパートは老朽の感があったが一応の機能は整っており、日本では少し贅沢な広さ（120m²）であった。通勤はマイクロバスが迎えに来てくれ、研究所までは約25分で通えた。食事は自炊よりレストラン通いが多かった。当地の主食はエイッシュというパンである。しかし、冷めるとあまり美味しくない。その外に油炒めのご飯（これは日本と同じ米）、おかずはチーズ、ハム、ゆで卵、煮豆や肉、野菜、マカロニを入れたシチュウ類、揚げ物などをエイッシュに包み込んで食べる。味付けは香辛料が多く、甘味料は使わない。この反動でお菓子や飲み物はたいへん甘い。砂糖は少しだけと言ってもおかしいとひどい目にあう。飲料水は、砂漠に出る時も宿でも、必ずミネラルウォーターか沸かした水を用意するのが習わしである。

外国で気になるのはトイレ事情である。あるレストランで用をたすためトイレに入ってびっくりした。小用ではあるが、便座が高い。これはどの国からの影響なのか、いまだ確認はしていない。ただ、わざわざ下に台がついているので問題は生じなかったが子供では無理のようである。

交通手段として公共のバスがあるが、これを利用する場合は命がけである。確実に停車してくれず、走りながら飛び乗るといふ芸当を持ち合わせないと無理であろう。よって我々はタクシーを利用することが多い。このタクシーがなかなかのもので、メーターはついていないが動いているのを見たことがない。たいてい、乗る前に値段交渉をする。これによるトラブルはあまり聞いたことがない。ともすると値切るのがたのしみになってくる。イギリスのタクシーが一番安全だと聞いていたが、エジプトも概して安全と感じた。

エジプト人は熱しやすいが比較のカラッとした性格かもしれない。接触などの交通事故などが起きると双方の関係者が飛び出して行き、ひとしきり他人が聞こえるように相手をなじる、しかし絶対手は出さない。そのうち仲介者が出て「ハラス、ハラス（終わりだ、終わりだ）」と言って来るが、そんなことにおかまいなしに自分の正当性をアピールする。行司役は仲介者と野次馬のようである。一定

時間の口論が終わったら「マレーシュ（気にするな）」と何事も無かったように別れる。例えば、足を踏まれたものが相手から気にするなと言われたようなものでいささか腑に落ちない話であるが、これは一種のストレス発散にもってこいなかもしれない。日本も参考にしたらと思うことがある。

エジプトにはホテルなどで出すいわゆる西欧型のチップと、バクシーシと呼ばれるイスラム教徒の義務のひとつである「喜捨」、つまり金持ちが金のない人にお金や物を与えるという考えがあった。これにより徳を積むことができるという考えである。最近ではこれを悪用する場合もあるようで、戸惑うことも多かった。

お金の交換はホテルで行うのが一般的である。1989年から1997年の間に円とエジプトポンド（LE）とのレートは58円/LEから27円/LEと大きく変わっている。

8. 出入国

毎回のことであるが、カイロ空港で入国するときは一悶着を起す。まず、ダンボールに入ったものはすべて開封させられる。特に無線機などは問題であるが、気にいらぬとなんでもないようなものまで一時預かりとなる場合がある。この場合は当該の機関から付書をつけていただき、再度取りに行くことになり、時間がかかる。ともすると帰る頃まで手に入らないことが起こる。

9. JICA 事務所のこと

エジプト滞在中は、常にJICA事務所の支援のもとに行動した。ホテルのこと、治安の情報、レストラン、出入国のこと、車の手配などである。事務所はカイロの中心地にある。所員は日本人スタッフが約7名、現地人がほぼ同じ人数と記憶している。そのほか専属のドライバーがいる。

一部のものは幸運にもJICAの忘年会や月例研究会に参加できた。場所が場所だけに歌も威勢がよく、お互いの経験談は奥の深いものであり、本当に興味深いものであった。また、研究発表は実務内容が色濃くでた生きた学問という感が強く、観測所勤務の我々にとって、学問は現地でなければ十分には活かせないのだという良い手本を見た感じがして愉快的気分を味わうことができた。

謝辞：エジプトと日本の地震学研究協力（地震観測網建設）においては、当初計画された期間から大幅にずれて終了することになったが、これらは多数の方々のおかげによる力によってもたらされたものである。特にエジプトJICA事務所、長期、短期専門家のみなさん、実際に機器設置にたずさわった明星電気、建築研究所、京都大学、名古屋大学の力強い協力があった完成した。また我々が出張中、所属する観測所の方々には多大な負担をおかけした。もちろん、「インシャラー（神が望みたもうならば）、ボクラ（今日がだめでも明日がある）、マレーシ（気にしなさんな）」の国、エジプトの熱意があったことは言うまでもな

い。本稿をまとめるにあたっては、技術報告編集委員会の渡邊トキエさんに多大な協力を得た。ここに記して感謝する。

文 献

Kebeasy, R.M., 1990, 私信.

参 考 文 献

Albert P.N.H. and S.J., Gibowicz 1980, Frequency dependent amplitudes of P-waves recorded at Helwan seismic station at less than 25°, *Acta Gyeophysica Polonica*, **28** (1), 3-14.

Allam, A.M., 1970, An investigation into the nature of micro-tremors through experimental studies of seismic waves, *Bull. IISEE*, **7**, 1-59.

Baba, K., 1982, Aswan High Dam and earthquakes, *JSEEP NEWS*, No. 79, 20-27.

Ben-Menahem, A. and E. Aboodi, 1971, Tectonic pattern in the northern Red Sea region, *Journ. Geophys. Res.*, **76**, 2674-2689

Davies, D., 1969, Seismic methods for monitoring underground explosions—An assessment of the status and outlook, *Almqvist & Wiksell, Stockholm*, 99 p.

藤井陽一郎, 1998, 日本・エジプトの「地震学研究協力」の5ヶ年と中東のテクトニクス, *JEEP NEWS*, No. 158.

古川信雄, 1993, エジプトとの「地震学研究協力」と「第3国研修(地震観測)」, *JEEP NEWS*, No. 131.

古川信雄, 瀬戸憲彦, 杉山志行, 木俣文昭, 1997, エジプト地震学研究協力総合報告, JICA.

Ibrahim, M. and I. Yokoyama, 1998, Probable origin of the ABU DABBAB Earthquake swarms in the eastern desert of Egypt, *Bull. IISEE*, **32**, 25-41.

Inoue H., Hurukawa N., Seto N., Nakamura M., Haneda T., Mizoue M., Nishigami K., Ohkura T., Murakami H., Fujii Y., Ibrahim E.M., Marzouk I., Megahed A. and Japan-Egypt Seismic Observation Group, 1996, Seismic observation at the Gulf of Suez, 米国地球物理連合 1996 年秋季大会予稿集.

Kebeasy, R.M., 1967, Propagation for near earthquake waves with special reference to the anisotropy of the Japanese Honshu Island Arc, *Bull. IISEE*, **4**, 19-46.

Kebeasy, R.M., 1975, Installation of new seismic station with frequency analyzer at Helwan Observatory, *Bull. Helwan Obs.*, 121 p.

Kebeasy, R.M. and S.D. Ibrahim, 1978, Application of complexity of P-wave records for discrimination of artificial

and natural seismic waves, *Acta Gyeophysica Polonica*, **26** (1), 217-224.

Kebeasy, R.M., Fahim M. and S.D. Ibrahim, 1979, Frequency dependent energy and magnitude of earthquakes and underground nuclear explosions, *Acta Gyeophysica Polonica*, **27** (1), 51-57.

Kebeasy, R.M., Maamoun M. and E.M. Ibrahim, 1982, Aswan Lake induced earthquakes, *JSEEP NEWS*, No. 64.

木股文昭, 村上寛史, 古川信雄, Ali Tealeb, 1996, アカバ湾地震(1995/11/22, M=7.0)に伴う地殻水平変動, 日本地震学会 1996 年秋季大会予稿集.

Kimata, F. and A. Teleab, 1996, Co-seismic displacements in Aquaba earthquake of 1995 detected by GPS measurements, *Proceedings of the International Symposium on Recent Crustal Movements in Europe*, Sept. (in Budapest).

Miyamura, S. and M.Hori, 1972, Body-wave magnitude at 1 Hz and 2 Hz as a short period discriminant between earthquakes and explosions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **62** (1), 411-412.

Miyamura, S., Kebeasy, R.M. and A.H. Albert, 1975, Discrimination between nuclear explosions and natural earthquakes using spectral analysis, *Bull. Helwan Obs.*, 119 p.

Miyamura, S., 1998, Early history of Japan-Egypt cooperation in the field of seismology, エジプト地震学研究協力総合報告, JICA.

中村正夫, 羽田敏夫, 1990, エジプトとの共同観測プロジェクト(地震観測網設置のための予備観測), *JEEP NEWS*, No. 113.

中村正夫・羽田敏夫, 1997, エジプトとの共同観測プロジェクト, 和歌山県 JICA 派遣専門家連絡会, 第一回会報.

日本・エジプト地震観測グループ(古川信雄ほか), 1994, 紅海北端における地震観測, 日本地震学会 1994 年秋季大会予稿集.

日本・エジプト地震観測グループ(村上寛史他), 1996, 紅海北端における地震観測(2), 日本地震学会 1996 年秋季大会予稿集.

日本・エジプト地震観測グループ(瀬戸憲彦他), 1996, 紅海北端における地震観測(3), 日本地震学会 1997 年秋季大会予稿集.

Road map, 1998, Kummerly + Frey, Bern Edition.

Salamon, A., Hofretter, A., Garfunkel, Z. and H. Ron, 1996, Seismicity of the eastern Mediterranean region: Perspective from the Sinai sub-plate, *Tectonophysics*, **263**, 293-305.

Sinai & Saint Catherine (観光カタログ), 1998, Farid Atiya.

Sinkin, T. etc., 1989, World map of volcanoes, earthquakes and plate tectonics.

Sudo, K., 1987, The 3rd regional seminar in Egypt, *JSEEP NEWS*, No. 96, 10-14.

宇津徳治編, 1987, 地震の辞典, 朝倉書房, p113.

横山 泉, 1995, エジプト滞在記(国立天文地球物理研究所の1年), *JEEP NEWS*, No. 142.