

直観、ヤマ勘、大失敗 — 失敗は成功のもと? —

大志万 直人
防災研究所・地震防災研究部門

1. はじめに

まず私の略歴を簡単に述べたいと思います。1978年に東京理科大学理学部物理学科を卒業し、東京工業大学大学院の理工学研究科応用物理学専攻に入学しました。この専攻を志望したのは偶然によることが大きいのですが、当時私が志望していた生物物理学ではなく、結果として地球物理学、その中でも、地球電磁気学を力武常次先生のもとで専攻するということになりました。この間の経緯のおおよそのことは防災研究所のニューズレター90号(2019年1月発行)の「道と路;京路の粋な店で聞く教育研究の道②」にインタビュー記事が載っています。

この時の研究テーマが今日の話の内容につながるのですが、1980年に修士課程を修了し、さらに博士後期課程を1983年に修了し4月からは日本大学文理学部応用地学科の副手として勤務することになりました。恩師の力武先生が、2年前に東京工業大学を退官され勤めておられたからです。1986年には助手として、また、1991年からは専任講師として総計10年ほど勤めたのち、1992年3月に防災研究所の助教授として京都大学に赴任してきました。そして、今年(2020年)の三月末で定年退職の予定となりました。

今日のタイトルの「直観、ヤマ勘、大失敗 — 失敗は成功のもと? —」は、実は、力武先生が退官されるとき最終講義のタイトルである「予感・山かん・トンチンカン」を拝借してつけたものです。そして、大学院の博士課程1年の時以来、現在に至るまで私が係わってきたトルコ・北アナトリア断層帯西部域での調査・観測研究に関する話をする予定なのですが、ふつう、講演と言えば、研究成果に関して、つまり、成功したことに関して話をするのがほとんどなのです。しかし、タイトル「直観、ヤマ勘、大失敗 — 失敗は成功のもと? —」にあるように、今日は、私が目指したフィールド実験とその失敗に関する話をしたしたいと思います。

2. 地殻活動電磁気学

大学院の修士課程に入学し、私のテーマとして先生から提示されたのは、断層運動が生じた際にその地表で生じる地磁気変化を求めるというものでした。このような研究分野は Tectonomagnetism (地殻活動電磁気学) と呼ばれていますが、この Tectonomagnetism という言葉の命名は永田武先生によるものです (Nagata, 1969)。そして、実は、永田先生は、Nagata(1976)中で、新潟地震の断層運動による地磁気変化という計算結果を示さ

れていますが、これは、最初に断層運動による地磁気変化モデルを提唱した Stacey(1964)のモデルを基にしたものです。しかし、Stacey モデルというものは横ずれ断層の応力変化を非常に単純化した弾性論モデルに基づいていました。

したがって、逆断層運動であった新潟地震に適用できないのですが、Nagata(1976)ではこの Stacey モデルを単純に斜め方向に断層面を設定しただけというものだったので、第 1 次近似としても正しいモデルではないというのが力武先生の意見だったわけです。そこであらゆるタイプの断層運動での計算をできるようにすべしというのが私に与えられたミッションだったわけです。

今日はこの部分の詳しい話は割愛しますが、岩盤中で応力変化が生じると岩石が持つ磁化が変化し、その結果として地表面では非常にローカルに地磁気変化することになります。この効果は岩石試料による実験で確かめられ応力地磁気効果と呼ばれていますが、一方、地震に伴う（断層運動に伴う）局所的な地磁気変化の出現に関しては、地震地磁気効果と呼ばれています。

地磁気は、岩石の応力変化によってだけでなく、岩石の温度変化によっても局所的に変化します。これは岩石の持つ磁化が温度によって変化するためです。極端な例は火山活動に伴って観測される地磁気変化ですが、この場合には岩石が磁化の性質を失うキュリー点温度以上に岩石が熱せられる場合もありますので、非常に大きな地磁気変化が結構広い範囲に出現することが期待できます。このような現象は火山地磁気効果と呼ばれることがあります。

実際の観測などは、伊豆半島がフィールドでした。伊豆半島では、1974 年の伊豆半島沖地震の発生以降、中伊豆での地殻隆起、1978 年 1 月の伊豆大島近海地震、1978 年秋以降の伊豆川奈沖での群発活動などの地殻活動が続いていました。しかし、当時東工大ではポータブルのプロトン磁力計が 2 台あるのみで、いわゆる連続観測をすることのできる記録装置をもった磁力計はなく、観測中は一定時間ごとに手で計測ボタンを押し、表示された計測機をノートに記録する必要がありました。

そこで 1980 年 4 月からは、当時広く利用が始まっていたマイコンボードを用いて自動計測しかつ自動記録できるコントローラを作りポータブル磁力計を連続観測できるように改造を始めるとともに、連続観測できるプロトン磁力計そのものを作ってしまうというようなことを始めました。もちろん伊豆半島で使いたいということもありましたが、今日の話であるトルコでも使用したいということがあったためです。

3. トルコ北アナトリア断層帯西部域の地震空白域

1980 年 4 月から博士後期課程に進学しましたが、その年の 9 月に力武先生がイスタンブールで開催された国際会議（確か記憶では国際地震工学会だっと思います）に出席された際に（この会議の期間中、トルコでは軍事クーデターが発生したのですが）、かつて先生がイスタンブール大学の客員教授として 1 年半ほど滞在されていた時の学

生の一人だったイスタンブール大学助教授（当時）の Isikara 先生（2 つ目の「i」はトルコ語綴りでは「点の無いアイの字」なので、発音はウシュカラ先生とするべきだが、私たちはイシカラ先生と呼んでいた）と会う機会がありました。その際、Toksoz *et al.*(1979)が地震空白域であると指摘した北アナトリア断層帯西部域で地震予知に関する共同研究を日本と実施したいとの提案がありました。そこで、ちょうどその年の2月に東工大に助教授として赴任されていた本蔵義守先生を研究代表者とする研究チームを構成し、イスタンブール大学のイシカラ先生のグループと共同して北アナトリア断層帯西部域での調査・研究を実施することになりました。

1981年の3月ごろにまずトルコから Kolcak（コルチャック）助教授(当時)が、トルコでの現在の観測の状況や地理的な情報の交換のために、東工大に來られて、半月ほど滞在されました。また、5月に入りトルコ側の研究代表者であるイシカラ先生が東工大に2カ月ほど滞在され、日本で我々が行っている伊豆半島での観測の状況を見るとともに、日本の各研究機関が行っている地震予知研究にかかわる観測研究の情報収集を行って帰国され、我々はそのあとを追うように7月下旬にトルコに出かけ現地調査を行い、日本-トルコの共同研究が実質的にスタートしました。

当時、博士後期課程2年だった私も、この共同研究に参加することとなり、その研究テーマを変えながらも、40年たった今も共同研究が継続していることとなります。もちろん今はトルコ側の共同研究者は、イシカラ先生から数えて2世代目を中心となり、さらに3世代目の研究者も増えつつあります。

また、イシカラ先生は85年ごろに、Bogazici（ボアジチ）大学に移動されたため、それ以降はボアジチ大学との共同研究として継続されました。さらに2000年以降は主要なメンバーがボアジチ大学からイスタンブール大学やコジャエリ大学などに移動したため、さまざまな大学に所属する研究者によるチームとなっています。40年間の共同研究の研究テーマを大きく分類すると、次のような5つになります。1) 各種の手法による活断層調査、2) 地殻活動電磁気学的モニタリング（全磁力連続観測点の設置）、3) 微小地震観測（短期的な観測と観測網の設置）、4) 広帯域MT観測による断層周辺の比抵抗構造、5) INTERMAGNET 観測点の構築、です。

図1に北アナトリア断層帯西部域の主な活断層の分布を示します。Mudurunu 断層と表記されている1967年 Mudurunu 地震を引き起こした活断層をカバーする地域では、西ドイツ(当時)の研究グループがトルコ・アンカラの地震研究所との共同研究を実施しており、また、Izmit-Sapanca 断層帯と表記されている断層帯を含む地域（北アナトリア断層帯西部域の北側の分岐断層帯の地域）では、英国の地質調査所がボアジチ大学カンディリ観測所と微小地震観測網による共同研究を行っていました。

そのため1986年からの日本とボアジチ大学カンディリ観測所との共同研究の対象地域は、主に、Iznik-Mekece 断層と記された、北アナトリア断層帯の南側の分岐断層の周辺地帯となりました。これは対象地域がオーバーラップしないようにというトルコ側の

希望からでもあります。

しかし、英国は 90 年代に入ってからプロジェクト経費の関係から撤退しました。そこで日本チームが微小地震観測網をより北側に広げ、1999 年の地震発生前には Izmit-Sapanca 断層帯をもカバーする微小地震観測網となっていました (Ito *et al.*, 2002; Baris *et al.*, 2002)。

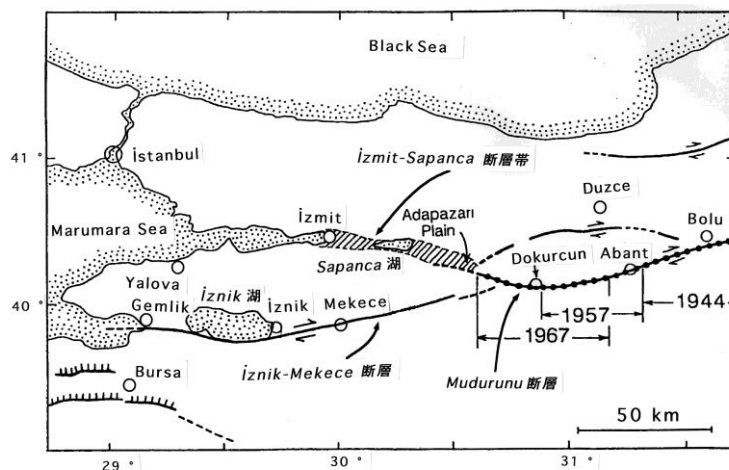


図 1: トルコ北アナトリア断層帯西部域における活断層分布。数字は過去の地震発生年と地震断層の範囲を示している (Ikeda *et al.*, 1991 に地名等を日本語で加筆)。1999 年のコジャエリ地震は図の Izmit-Sapanca 断層帯を地震断層とする地震である。

最初のトルコでの調査は 1981 年 7 月下旬から約 1 月の期間でしたが、トルコの夏は日差しが厳しくかつ乾燥しているため野外での調査はかなり大変でした。主に、図 1 にある Mekece (メケジェ) という村を中心とした地域で調査を実施しました。

1982 年は前年の夏が非常に暑かったこともあり調査期間を 5 月下旬から約 20 日間とし、夏の暑い時期を避けることになりました。調査域は Iznik-Mekece 断層 (メケジェの東から Iznik (イズニック) までの地域) と、さらに東に移動し、Bolu (ボル) の東に位置する Gerede (ゲレデ) から Ismetpasa (イスメットパシャ) の地域でした。この地域は、1944 年のゲレデ地震 (M7.6) の震源域に当たります。

この 2 年間の調査は電磁気学的手法と地形・地質学的な活断層調査が主なもので、電磁気学的調査としては、活断層線に直交した測線に沿って地磁気全磁力、浅部の比抵抗分布、自然電位分布を測定するというを行いました。

その結果、断層に沿って全磁力、自然電位、比抵抗それぞれが分布の異常を示すことがわかってきました (Honkura *et al.*, 1985; Isikara *et al.*, 1985; Tuncer *et al.*, 1991a; 1991b)。図 2 にその全磁力異常の例を示します。

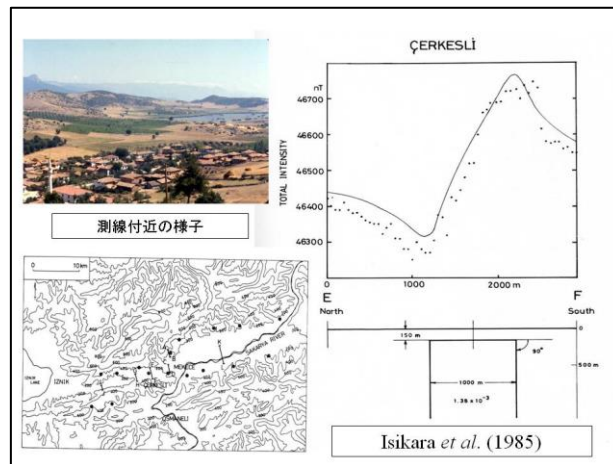


図 2 : Cerkesli (チェルケスリ) 村の測線 E-F に沿って観測された全磁力異常 (黒丸印)。断層に沿ったダイク状の部分に磁化の強い構造が存在するモデルで説明することができる (実線)。

4. 地震地磁気効果検出のためのフィールド実験装置の構築

1981 年と 1982 年のトルコ調査では、開発を行っていたポータブル・プロトン磁力計用の記録機能のあるコントローラは、トルコでの全磁力サーベイの際の日変化補正のための定点連続観測に投入することができましたが、自作のプロトン磁力計システムを現場での観測に活用するには至りませんでした。

実は、1982 年の調査の際には試作品を 1 台持ち込んだのですが、安定した計測値を得ることができず野外での使用はあきらめざるをえませんでした。モーターの奥の広い庭にセンサーを持ち出しセットし、数日間フィールドに出ずに磁力計の調整を行ったのですが、どうしても問題を克服できなかったのです。

実際に自作プロトン磁力計の初期型をアナトリアのフィールドに投入できたのは、1986 年の夏でした。そして図 3 に示すような改良型のプロトン磁力計 (Oshiman, 1989) を 1987 年から投入し 1988 年の夏に連続観測網が完成しました。

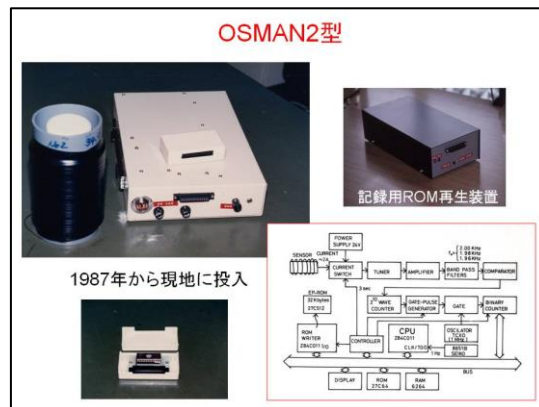


図 3 : 1987 年から投入したプロトン磁力計 (Oshiman, 1989)

前節に書きましたように、Iznik-Mekece 断層の電磁気学的調査により、断層に沿って全磁力異常が存在することが判明しましたが、このことは断層沿いでは地下の磁化構造が一様ではないことを示しています。実は、一様な磁化構造の場合、横ずれ断層による応力変化があっても、計算により想定される地震地磁気効果の出現は断層直上に限られてしまいます (図 4 の上図)。このことは、地震地磁気効果を観測するためには、次の地震の地震断層の位置を正確に予測する必要があるということになり、その検出は非常に難しいものになります。

世界でも、地震地磁気効果が全磁力連続観測により初めて検出された報告は、Johnston and Mueller (1987)によるサンアンドレアス断層の例です。それぐらいコサイスマック変化の検出は難しいものなのです。これが火山地磁気効果との大きな違いです。火山地磁気効果はその変化量が大きくまたその出現範囲も広いのです。

ところが、断層周辺で磁化分布が不均質である場合、図 4 の下図に示すように非常に広い範囲に地震地磁気効果が出現し、その出現範囲は現在の磁気異常の分布からあらかじめ予想することができます。このようなことも想定しながら図 5 に示すように、1986 年から自作プロトン磁力計を用いた全磁力連続観測点網の設置を開始し、1988 年の夏に完成することができたのです (Oshiman *et al.*, 1991)。

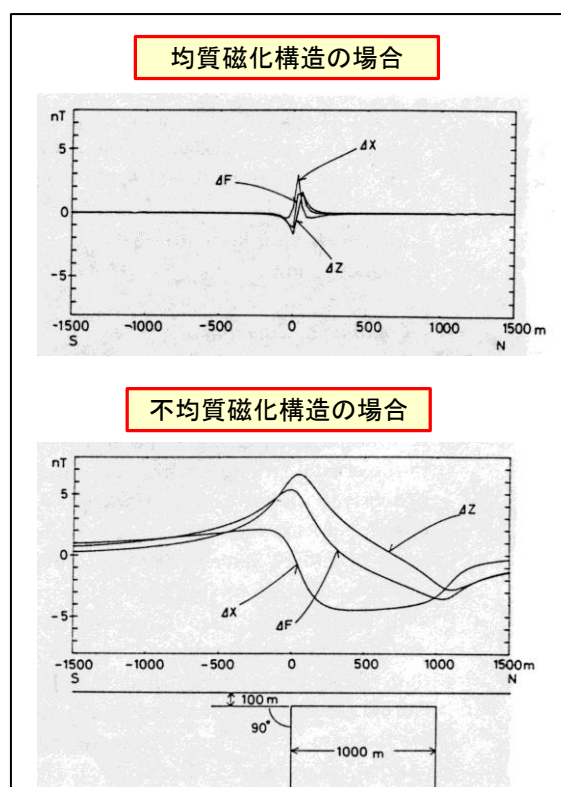


図 4 : 二次元左横ずれ断層による応力変化を基に地表で観測される地磁気変化を計算した結果 (Oshiman *et al.*, 1991)。「不均質磁化構造の場合」とあるのは、断層に沿って存在している磁気異常から推定される磁化構造を考慮した地磁気変化。座標 0m の位置に断層があるとしている。

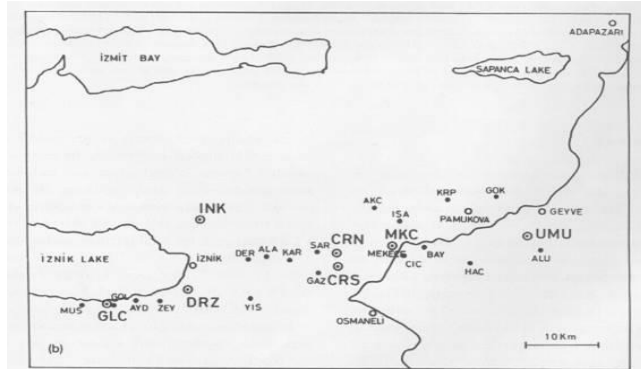


図 5 : Iznik-Mekece 断層周辺での全磁力観測網 (Oshiman *et al.*, 1991)。◎印はプロトン磁力計 OSMAN2 による連続観測点で、●印は繰り返し磁気測量点。連続観測点 INK は Iznik-Mekece 断層から離れた基準観測点として設置した。この観測点は 2005 年以降、第 6 節にあるようにイズニック地磁気観測所として地磁気 4 成分の観測施設になる。

5. 1999 年 Kocaeli (コジャエリ) 地震の発生

1999 年の夏、それまでの研究テーマとは異なり、北アナトリア断層帯西部域の 2 つの分岐断層である Iznik-Mekece 断層と Izmit-Sapanca 断層帯の構造の相違からその活動度の違いを明らかにできないかということで、これら 2 つの活断層を共に直交する長測線に沿った深部比抵抗構造を求めるために、7 月下旬から広帯域 MT 観測を実施しました。



図 6 : 1999 年当時のボアジチ大学カンディリ観測所のイズニック観測施設の様子。この年初めてこの観測施設に宿泊し、コジャエリ地震 (M7.4) の発生の 20 日ほど前から北アナトリア断層帯西部域の 2 つの分岐断層である Iznik-Mekece 断層と Izmit-Sapanca 断層帯を共に直交する長測線に沿って広帯域 MT 観測を行っていた。建物の背景にある山並みの縁に沿って Iznik-Mekece 断層が走っている。

一方、1998 年までには、共同研究のトルコ側機関であるボアジチ大学カンディリ観測所は、我々が調査活動の拠点としていたイズニックに宿泊設備を備えた観測所 (図 6)

を完成させていました。1999年の観測調査では、この施設を初めて利用することができ、8月17日の現地時間の午前3時過ぎに発生したコジャエリ地震(M7.4)の際には、この観測所に宿泊中だったのです。

図7に示すように、南側の分岐断層であるIznik-Mekece断層周辺から観測を開始し、観測点を北方向に移動させながら観測を実施中でした。番号のついた☆印と001とある△印が、ちょうどコジャエリ地震発生時に観測装置を置いていた観測点です。コジャエリ地震を発生させた断層はIznik-Mekece断層ではなくIzmit-Sapanca断層帯のほうだったのです。

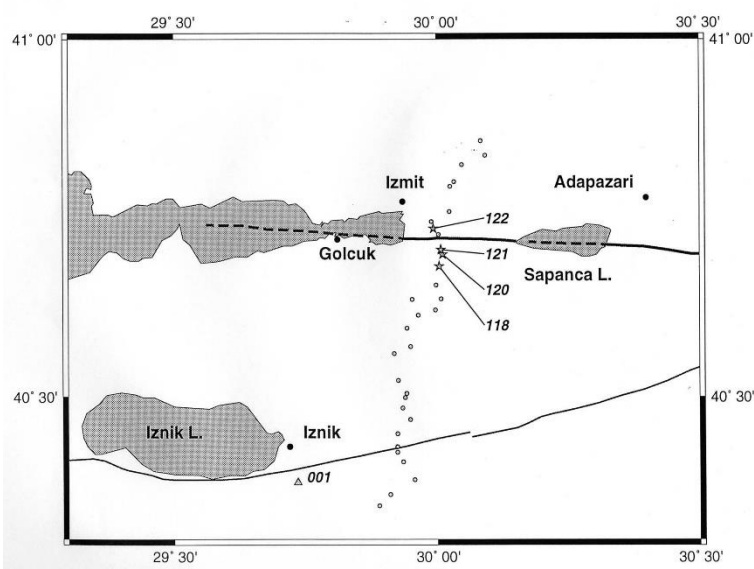


図7：1999年の夏に実施していた深部比抵抗構造探査のための広帯域MT観測の観測点分布。番号のついた☆印と001の△印が、ちょうどコジャエリ地震発生時に観測装置を置いていた観測点(Honkura *et al.*, 2000)。

図6の写真で分かるように宿泊場所のイズニック観測所はIznik-Mekece断層から数キロのところのところに位置しています。一方、Izmit-Sapanca断層帯は、北に約60kmのところのところに位置しています。つまり、結果として、1987年以降構築してきたフィールド実験装置による地震地磁気効果の検出は、失敗してしまったのです。もちろん、近い将来にIznik-Mekece断層も地震を発生させる可能性は0ではありませんが。

Toksoz *et al.*(1979)が1979年に、北アナトリア断層西部域が地震空白域であると指摘してから20年後に実際にM7クラスの地震が発生したわけですが、調査観測を開始したときに、自分が地震の発生に立ち会うということは予想もしていませんでした。

図8は、Izmit-Sapanca断層帯の南に位置する山側の少し高い位置にある広帯域MT観測点から、コジャエリ地震発生前と発生後に撮影した風景です。

左の写真は、北アナトリア断層帯はこの地域で南と北の2つの分岐断層(お互いの距

離は最大約 60km) に分かれています。この南側の分岐断層をカバーすべく南側から観測装置を順次移設しながら観測を進めてきて、ちょうど北の分岐断層に至った時に撮影したものです。撮影は地震発生の3日前でした。一方、右の写真は、地震発生5日後に同一観測点でのデータ回収時に撮影したものです。

観測していた地域(キョセキョイ)はイズミットのなかでも、まだ農村といってもよい地域であり、目立った建物被害は無いように見えますが、2枚の写真をよく見比べると、地震後の写真では当時造成中であったコジャエリ大学の新キャンパス内に建築されたばかりの建物が壊れているのが分かります。また周辺では、民家の倒壊がありました。この崩壊したコジャエリ大学の建物の南側に地震断層が出現しました(地震発生時に関しては、本蔵(2000), 本蔵他(2000), 大志万(2000)を参照のこと)。



図8：広帯域 MT 観測の際に撮影したコジャエリ地震発生前(左)と発生效后(右)の風景。

6. イズニック地磁気観測所での磁力計設置

Iznik-Mekece 断層周辺でのフィールド実験は失敗してしまいましたが、全磁力観測網の観測点の内、基準点として設置した INK 観測点は、その後全磁力値の連続観測だけではなく、立派な観測施設が建築され、フラックスゲート磁力計による地磁気3成分も計画されるようになりました。

当時、イスタンブールのアジア側のボスポラス海峡を望む高台の広大な敷地内にある、ボアジチ大学カンディリ観測所の地磁気観測部門の建物で地磁気3成分と全磁力の観測を行っていたのですが、キャンパス周辺の土地が開発され宅地となり多くの人々が住むようになるなど、地磁気観測としての環境条件の悪化が進んでいました。そのため、観測条件の良好なイズニック湖の北東岸に近い Inikli (イニクリ) 村に地磁気観測施設を建設したというわけです。この場所は、INK 観測点に隣接した場所というわけです。

ちょうどそのころ地磁気世界資料解析センターの家森俊彦先生が科研費によりシルクロード沿いの国々の地磁気観測を整備しそのデータを収集するというプロジェクトをスタートしておられました。このプロジェクトの一環としてこのイズニック地磁気観

測所でもデータ取得に関してサポートするというので、2005年の夏にセンターの能勢正仁先生と共に、フラックスゲート磁力計による地磁気3成分値とプロトン磁力計OSMAN2による全磁力値をPCベースの収録システムにデータを取り込み、さらに、データをインターネット経由でイスタンブールのカンディリ観測所と地磁気世界資料解析センターに送信するようにするための作業を行いました（図9と図10を参照）。

この現地作業の報告は「トルコ・イニクリ観測所磁力計設置報告」としてセンターNEWSに記事が出ていますのでそれも参考にいただければと思います(能勢, 2005)。

現在、イズニック地磁気観測所 (IZN) は、INTERMAGNET 観測点の一つとして登録され、地磁気データを世界に配信しています。

さらには、Celik *et al.* (2012)により全磁力観測網の1987年以降のデータとイズニック地磁気観測所の3成分データを用いた地磁気太陽・太陰日変化に関するデータ解析研究成果も出すことができました。その意味では、全磁力連続観測網の構築がすべて無駄になったわけではありません。



図9：イズニック地磁気観測所 (IZN)



図10：イズニック地磁気観測所での作業の状況とすべての作業が完了してイスタンブールに戻る朝にイズニック観測所の玄関で観測所の全職員との記念撮影

7. おわりに

今回は、私の「失敗」というテーマを中心に話をしてきましたが、実のところ研究には失敗はつきものですし、また、完全に無駄になるということも無いとも思っています。特に、地球科学では実験条件をコントロールできない条件下で野外観測し本質に迫ることが必要で、自分の思い通りにならないこともあります。しかし、昨今は意味のある成果を常に求められる状況があります。極端なことを言うと、打率 10 割を要求するような状況であるともいえます。

そういう意味では、逆に、面白いと思ったことを通じて、大きな「失敗」をさせてもらえたということは、研究者として幸せだったのではないかと思います。

トルコへの渡航回数は 30 を超える回数になりました。国際共同観測研究の実施に関しての経験談ということで、大志万 (2020) にもトルコとの共同観測実施の話題をまとめていますのでそれも参考にいただければ幸いです。

最後に、これまで色々と指導いただいた先生方や、特に今回のテーマに関して言えば、地殻活動電磁気学分野の偉大な先輩として研究上の議論や多くの助言をしていただいた笹井洋一先生と、プロトン磁力計作成の際にご指導いただいた田中良和先生には、ここに感謝を表したいと思います。また、私と共にフィールド実験に参加し継続してくれた日本とトルコの共同研究者の面々にも深く感謝したいと思います。

参考文献

- Baris, S., A. Ito, S. Ucer, Y. Honkura, N. Kafadar, R. Pektaş, T. Komut, and A. M. Isikara, Microearthquake activity before the Izmit earthquake in the eastern Marmara region, Turkey (1 January 1993 - 17 August 1999), Turkey, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **92**, 394-405, 2002.
- Celik, C., M. K. Tuncer, E. Tolak-Ciftci, M. Zobu, N. Oshiman and S. B. Tank, Solar and lunar geomagnetic variations in the northwestern part of Turkey, *Geophysical Journal International*, **189**, Issue 1, 391-399, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05382.x, 2012.
- Honkura, Y., A. M. Isikara, D. Kolcak, N. Orbay, S. Sipahioglu, N. Ohshiman, and H. Tanaka, Magnetic anomalies and low ground resistivity as possible indicators of active fault location: preliminary results of electric and magnetic observations from the western part of the North Anatolian Fault Zone, *J. Geomag. Geoelectr.*, **37**, 169-187, 1985.
- Honkura, Y., A. M. Isikara, N. Oshiman, A. Ito, B. Ucer, S. Baris, M. Tuncer, M. Matsushima, R. Pektaş, C. Celik, B. Tank, F. Takahashi, M. Nakanishi, R. Yoshimura, Y. Ikeda, and T. Komut: Preliminary results of multidisciplinary observations before, during and after the Kocaeli (Izmit) earthquake in the western part of the North Anatolian Fault Zone, *Earth Planets Space*, **52**, 293-298, 2000.
- 本蔵義守, トルコ地震について, *地震ジャーナル*, 第 29 号, エッセイ, 2000.

- 本蔵義守, 伊東明彦, 大志万直人, 観測網のなかでおこった地震, *科学*, **70**, 109-112, 2000.
- Isikara, A. M., Y. Honkura, N. Watanabe, N. Orbay, D. Kolcak, N. Ohshiman, O. Gundogdu, and H. Tanaka, Magnetic anomalies in the western part of the North Anatolian Fault Zone and their implications for active fault structure, *J. Geomag. Geoelectr.*, **37**, 541-560, 1985.
- Ito, A., B. Ucer, S. Baris, A. Nakamura, Y. Honkura, T. Kono, S. Hori, A. Hasegawa, R. Pektas, and A. M. Isikara, Aftershock activity of the 1999 Izmit, Turkey, earthquake revealed from microearthquake observations, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **92**, 418-427, 2002.
- Johnston, M. J. S., and R. J. Mueller, Seismomagnetic Observation During the 8 July 1986 Magnitude 5.9 North Palm Springs Earthquake, *Science*, **237**, 1201-1203, 1987.
- Nagata, T., Tectonomagnetism, *I.A.G.A. Bull.*, **27**, 12-43, 1969.
- Nagata, T., Tectonomagnetism in Relation to Seismic Activities of the Earth's Crust: Seismo-magnetic Effect in a Possible Association with the Niigata Earthquake in 1964, *J. Geomag. Geoelectr.*, **28**, 99-111, 1976.
- 能勢正仁、トルコ・イニクリ観測所磁力計設置報告、*京都大学地磁気世界資料解析センターNEWS*、**93**, 2-4, 2005.
- Oshiman, N., A new type magnetometer system: OSMAN2, *In Y. Honkura and A.M. Isikara, ed., Multidisciplinary Research on Fault Activity in the North Anatolian Fault Zone (2)*. Institute of Technology, Tokyo, pp.125-136, 1989.
- Oshiman, N., M. K. Tuncer, Y. Honkura, S. Baris, O. Yazici, and A. M. Isikara, A strategy of tectonomagnetic observation for monitoring possible precursors to earthquakes in the western part of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, **193**, 359-368, 1991.
- 大志万直人, トルコ・イズミット地震, *地震ジャーナル*, 第**29**号, 1-10, 2000.
- 大志万直人, トルコ共和国北アナトリア断層帯西部域での40年にわたる共同研究の概要, *Conductivity Anomaly 研究会論文集*, 1-12, 2020.
(http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/CA/2020/Oshiman_CA2020_a.pdf)
- Stacey, F. D. The Seismomagnetic Effect, *Pure and Applied Geophysics*, **58**, 5-22, 1964.
- Toksoz, M. N., A. F. Shakal and A. J. Michael, Space-time migration of earthquakes along the north Anatolian fault zone and seismic gaps, *Pageoph.*, **117**, 1258-1270, 1979.
- Tuncer, M. K., Y. Honkura, N. Oshiman, Y. Ikeda, and A. M. Isikara, Magnetic anomalies related to active folds in the North Anatolian Fault Zone, *J. Geomag. Geoelectr.*, **43**, 813-823, 1991a.
- Tuncer, M. K., N. Oshiman, S. Baris, Z. Kamaci, M. A. Kaya, A. M. Isikara, and Y. Honkura, Further evidence for anomalous magnetic structure along the active fault in western Turkey, *J. Geomag. Geoelectr.*, **43**, 937-950, 1991b.