

海外における地球物理観測—京都大学の貢献

橋爪道郎（1961 年卒）

海外における観測と言っても、国家間の協約により観測を伴う事業が実施されることがある。多くの場合、一定の期間にかなりな資金が投入され、その技術提供は専門業者の請負となる。その契約期間を過ぎるとその事業は終了となる場合が多い。私がここに述べる海外における地球物理観測はその主体が科学者で、その資金は科研費程度、観測方式も固定観測から移動あるいは臨時観測を含むことにする。技術は多くの場合手作りに近い。その継続期間は観測の必要性の続く限り持ちこたえることが期待される。この集録の性格上、京都大学における研究の記述が主体となるが、特にそれにこだわるわけではない。なお、以下の文章では失礼ながら敬称は略させていただいた。文献引用は WEB で検索できるものに関しては省略した。

私が地球物理観測に初めて参加したのは京大 4 回生の時であった。三雲健に連れられて和歌山県の伊太祁曽というところへ非平衡型の電磁地震計を持って微小地震の観測をしたのが研究生生活の事始めであった。当時は、とにかくにも、感度を上げることが至上目的であった。ようやくエレクトロニクスが実用に供されるようになった頃である。教室では多くの試作機が考案された（本号「地球物理と防災研関係の工作室-人と機械」参照）。三木晴男は「地震」20 巻記念特集号において、それらを「現れては消える珍奇な計測器類」と皮肉った（三木晴男, 1967）。二次微分方程式の権化たる地震計はもはや多くの改良の余地をもたなかったと思う。高感度広帯域地震計・プロトン磁力計・超伝導重力計など、古典力学から離れた技術は、京都盆地はおろか日本列島のなかでで育たなかった。

一方、米国地質調査所 (USGS) は従来の型の地震計を世界中にばらまいて新たな地震学、特にプレートテクトニクスの形成に貢献した。これはアメリカの国力の発揚である。プレートテクトニクスの発展において日本の貢献にみるものはないといわれるが、巨大科学としての海洋観測では太刀打ちできなかったとしても、和達清夫ほかの日本列島下の深発地震の発見は、寺田寅彦以来の伝統的な深い洞察と直感に基づいた成果として、いまさらながらその卓見に頭が下がる思いがする。一方、世界規模から地域規模へ、そして、局地規模への研究も促進された。これも科学の必然である。

私自身は京都大学にあって、微小地震の観測に従事した。それはそれで目的があり、おもしろかった。ここで苦労したのは、要求される観測目的に観測精度・信頼度・安定度をいかに合致させられるか、ということであった。観測当事者として実際に計器を扱うと、その信頼度は、公表されている信頼度からみると遙かに及ばないことが間々ある。たとえば浅い地震の震源位置の決定精度を扱う場合などである。これは観測技術の問題だけでなく、観測のシステムを考えなければならないと思いつつあった頃、私は岡山大学に出向した。出向まもなく私は、カナダの Dominion Observatory として知られた研究所に二年間滞在した。京都大学で展開していた微小地震観測網を一回り拡大したような観測網とそこで親しく接することになった。古典的ではあるが安定して欠測のないデータを自由に使わせていただいた。

岡山に復帰して、玉野市渋川にあったある施設の跡地を利用して「環境計測共同利用施設」と名付けた観測所を創設した。佐橋謙も発起人の一人であった。この施設を有効に利用できる観測機材をそこに持ち寄ることにした。残念ながら 1982 年に私が退職してユネスコに勤務した後、この施設は長くは続かなかったようである。

ユネスコ勤務においては、観測自体を推進する任にはなかったが、パリで会った人のなかに Barbara Romanowicz がいる。彼女は GEOSCOPE (<http://geoscope.ipgp.fr/>) の創始者のひとりであり、今からの地震学は広帯域でないとだめだと吹きかけられた。そしてその観測から新しい地球観が生まれたのはご存じのとおりである。そのとき地震計の設置は

地表に砂をまき平らにして、その上にガラスをおいて観測するのだと説明され、オヤと思った。我々だったら、できるだけ安定な地盤の場所を探すか造成した上で観測を行うだろうと思う。

主な仕事のひとつに IUGG 傘下の IASPEI や IAVCEI などと協力して、特に途上国の地球物理学の普及に努めることがあった。しかし、その多くの事業は援助が消えたその時点から、進行は止まってしまうのが常であった。1970 年代に John Hodgson を技術主任とするユネスコ東南アジア地震観測網建設計画は、彼が後ほど嘆いていたように(Hodgson, 1980)、ほとんど跡形もなく消え去った。もちろんその後、各国の経済発展に伴い、防災上の観点から、これらの国に新規の観測網が充実されつつある。

例外は、ベトナムへの地震観測網の設置事業である。当時、国際的な関係からベトナムは上記の計画から外されていた。ユネスコは UNDP (United Nations Development Programme) から資金を得て、その指導を主としてチェコスロバキア(当時)の地震学者と後にフランスの地震学者に求めた。ベトナムはフランス植民地時代に養成された地磁気観測の伝統を基盤として、この地震観測網設置事業に多くの人材を送り込み、それを自国の地球物理研究所に確保した。

火山関係の資料で、今も手に取ることができるものに World Organization of Volcano Observatories (WOVO) による Directory of Volcano Observatories がある。最新号は 2005 年である。

1998 年から私はタイに滞在している。一般的に地球物理の観測は、その目的により、一定の地域が対象になるものが多い。あるいは特定の地点が対象になる場合もある。タイは国土がかなり広く、インドシナ半島の中央部に位置している。残念なことに、この地域の地球物理学のレベルが高いようには思われないし、安定した観測所は少ない。ここにあつて、モンスーンの研究などは、この地のデータが不可欠である。東大気候システム研究センターの中島映至ほかは、モンスーン研究の一環として、タイの中央部の Sri Samrong に小さな観測小屋を設置して、大気エアロゾル観測を始めた。そこへ当時 Chulalongkorn 大学(Chula 大)に勤務していた私が相談を持ちかけ、これを総合的な観測施設として拡充することを提案した。

当時 GAME-T (GEWEX Asian Monsoon Experiment-Tropics)なるプロジェクトが走っていたが、この地に永続的な観測施設を必要とする研究者グループが共同して小さな建物を設置した。管理は Chula 大が引き受けた。開設当時は 10 台くらいの観測機器とデータロガーが収納された。管理と言っても定員がついたわけでもなく、特定の予算がもらえるわけでもなかった。いわゆる手作りの観測所である。しかしながら、この位の規模になると、その保守が大変である。当時、ようやく普及してきた電話によるダイヤルアップを定時刻に接続することにより、データを Chula 大まで送信し、そこから利用者がダウンロードできるようになったことは画期的なことであった。観測状態をモニターできるようになって、保守がかなり楽になったことは言うまでもない。しかし、それにより、多くのトラブルも明らかになった。観測機固有の部分はその観測機を提供している機関から人を派遣してもらうよりほかない。

ハッカーにより IP アドレスを乗っ取られたこともある。悩まされたのは観測施設が送電線の末端にあつたため、経済発展に伴う電力使用量増加にともなう電圧の降下であった。かなり大がかりな無停電電源装置(UPS)を設置しても機械の方は停電と電圧降下が区別できない、不安定な状態が続いた。太陽光を測定する pyranometer が昼間予期せぬ時間帯に観測を停止する。原因は敷地が試験農園であつたことにより、スプリンクラーが作動して降雨検知器がスプリンクラーを降水と認知したためであった。もっと原因究明が手間取った事例としては、野外に設置した完全防水のアルミの箱に収容されたエレクトロニクスのトラブルであった。昼間の高い温度でその箱は膨張して湿度の高い空気が吸い込まれる。夜間の冷え込みで少量が結露する。結露すると、その水は排出されず、長年月の後に箱は水浸しになっていた。斯くしてこの観測空間と施設では利用者が要求する観測機器の

増設が難しくなり始めた。そこへ Bureau of Royal Rainmaking Aviation Agriculture (BRRAA)から、有名な Phimai 遺跡とほど遠くない地点にある研究施設に隣接する敷地利用の申し出があった。中島映至とそのグループ並びに Chula 大学が相談して、思い切って移転を決意した。



写真 1 Phimai 観測所

A parabola on the left is IPSTAR. Above the upper floor various sensors are installed seen only GPS, wind vane and anemometer. On the left, out of picture, exist magnetometer vaults.

新しい施設は 36m^2 の二階建とした（写真 I）。屋上の観測空間を含めてかなり余裕ができたので、それまでの施設名 Observatory for Atmospheric Radiation Research から Radiation を削除して Observatory for Atmospheric Research at Phimai と名称を変更した。現実的にはそれにもこだわらないで地球物理観測所として機能できるようにして、利用者を受け入れることにした。中島グループには直接参加していない京都大学の家森俊彦がその最初の利用者である。この地磁気センサーは広い空き地に設置することが要求され、その結果、観測所は全体としてずいぶん大きな敷地を占有している。BRRAA とは観測の補完と研究協力が期待された。BRRAA にはある程度の保守をお願いできるが、観測所は引き続き無人である。それゆえ、最大限の遠隔操作の導入は必須である。通信は観測所が都市部から遠く離れているため ADSL が使えないので、比較的安価な使用量で提供されているサテライトを使った IPSTAR を導入した。現在設置されている観測機器類の観測目標は、

Radiation and Surface Meteorological Observation;

Aerosol Observation;

Cloud and Water Vapor Observation;

Wind Profiler and Radio Acoustic Sounding System;

GPS Observation;

Magnetometer Observation

その他の長期・臨時の観測

現時点で永続的な協力機関は下記の日本の研究機関が主である：

東京大学・千葉大学・京都大学・茨城大学・環境研・JAMSTEC・JAXA.

この観測所は UNEP (United Nations Environmental Programme) の ABC (Atmospheric Brown Cloud) 計画の地域センターとして指定された。この計画の一環として Scripps 研究所が機材を持ち込む計画であったがいくつかの行政的な理由により計画が中断している。

この Phimai への移転は、もちろん施設の拡充だけでなく、意識として将来的には地球物理観測所として、現在この国の理学部に存在しない地球物理学教室の創設の核となることを夢見ていた。幸い、Chula 大に一人の気象学の専任教官を迎えることができた。観測所の運営にも未だ多くの問題を抱える。当初の見込みでは大学は一定の期間が経過した後は運営費を大学側で負担することになっていた。タイの経済からすると十分可能なはずであるが、未だに実現していない。国および大学に多くの行政的な問題が存在することは確かであるが、これを一つ一つ越えて行く意志が働いて初めてことは成就する。現在の運営

費は各利用者の共同分担となっているが、特に共通部分の中島グループと京都大学のグループのやりくりを負うところが多い。観測所設立後かなり年月を経て多くの機器の老化が激しい。また新しい機器の受け入れなどを可能にするために共通部分の拡充整備は急を要する。

技術的な問題、特にローカルな諸問題に適応した技術開発において、京大 COE21 プログラム「活地球圏の変動解明ーアジア・オセアニアから世界への発信」の貢献は大きい。非定常な観測も Phimai の施設を利用することが間々ある。絶対重力測定もその一つである（この冊子の「地物教室測地学分野の海外観測・国際貢献（竹本修三）」）。また COE21 は多くの観測者をタイに送り込んだ。Phimai は京都大学のよき教育機関ともなった。

GPS の観測に関して一言記しておきたい。タイにおける GPS 観測網は 1998 年に GAME-T により展開された。このプロジェクトが終了とともに GPS は撤去されることになった。安成哲三の尽力のもとに、JAMSTEC が 3 点と京都大学が中古の機材を提供してくれて約 500Km のスペーシングの GPS 観測網を維持することができた。この完成を待って、それがあたかも予知されたがごとく 2004 年 12 月 26 日に $M_w=9.1$ のスマトラ地震が発生した。この断層方向に平行した南北 1000Km を越す観測点からのデータはただちに C. Vigny, N. Choosakul（当時 Chula 大）らにより Nature に発表された。主要な研究者のひとりとして橋本学は、この観測網を利用して、地震により励起された固体地球の諸変動を解析して多くの論文を発表した。その後、タイなどにおける GPS 観測データを用いて 2008 年 5 月 12 日中国四川省の地震（ $M_w=7.9$ ）の際の長周期表面波の検出に成功し、GPS が長周期地震計として使用できる可能性を示した。地味な研究ではあるが、京都大学の伝統を担ってこのような観測を今後 50 年程度継続することが期待される。

家森俊彦はこの地震から発生した音響的擾乱が上層大気の共振を引き起こすことを発見して発表した。さらに Nithiwatthn Choosakul は地震の震動が電離層に及ぼす影響を研究して京都大学より学位を授けられた。そのほか、このデータを使って発表された論文は枚挙にいとまがない。

この GPS 観測網を長年安定に維持するため、ごく最近提案されて実行に移されつつある計画は、この観測網の管理を King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang (KMITL) の通信工学に移してここで観測点を ADSL を通じてモニターして保守を行う。データベースは KMITL に構築することにする。情報通信研究機構 (NICT) はすでにタイ国内に GPS 観測点をいくつか持っているが、これと併合することにより、上層大気から地球内部までを研究目的とする GPS 観測網を完成させるべき努力が続けられている。そのローカルな興味の一つは GAME-T の興味のひとつであった人工降雨の効率に関する BRRAA との共同研究である。

Chula 大はこのバンコクからほど遠くない Saraburi というところに将来の研究所のための広大な用地を確保している。現在は緩やかな起伏のある原野であるが、最近少しずつインフラ（電力・給水・道路）が整いつつある。ここにあって東北大学の空電観測が簡易施設のもとで始められた。観測の用地としては地盤が堅固であるため、どちらかという固体地球物理の観測所に向いているであろう。福田洋一は将来の重力基準点を設置すべく話し合いを進めている。

以上名前を挙げさせていただいた方々のほか、藤森邦夫・斉藤昭則・能勢正仁の皆様にはソフトウェア・ハードウェアにわたり多大な貢献をいただいた。私がタイの観測に関わりを持って 10 余年、観測所には南京錠がかかっているだけであったが、一度も盗難にあったことがないことは特記しておきたい。これも社会基盤の一つとして大切なことである。とはいえ無人観測所である以上、いつかは避けられない事態が発生することはあり得る。

私個人の夢からすると、総合的な地域センターとしての地球物理観測所がこの新しいキャンパスに展開できることを願っている。長くユネスコに勤務して、タイほど広い領土を占有し社会経済基盤が整った国で地球物理学が存在しない国を知らない。タイにおいて、最も権威のある学府とされている Chula 大に地球物理学科（あるいは地球科学）が創設さ

れるならば、長期的に人材の養成が可能となるであろう。客観的にみてこれは可能だと思われる。しかし問題も多い。

日本の学術審議会に相当する NRCT (National Research Council of Thailand) においてさえ、タイにアカデミックな場は必要がないと言い切る人も多い。現に ICSU (International Council for Science) の唯一の国内対応機関であると法で定められた NRCT において、さらには国内学界においても ICSU 対応の国内学会の設立に関心がないようである。地震学会はもちろん、気象学会に相当するものも未だに存在しない。現在 Chula 大においては地球物理関係の講義は地質学教室のひさしを借りて行われている。学界においては地質学と地球物理学の学際研究が進行しているが、ローカルにおいてはむしろ反発が多いのは万国共通である。これらの問題に外国からの干渉は、ほとんど不可能である。幸い修士レベルの学生で Phimai のデータを利用した論文がではじめたのは希望が持てる。京大 COE21 においてその活動の一つが特別講義の開催であったが、継続が切望される。

観測所のデータは一定のルールの下で公開されている。しかし一般的にデータはそれを採取された国に所有権がある。これを国外に持ち出すのは原則として NRCT の許可を必要とする。多くの場合、タイはおおらかである。しかし持ち出したままデータの原型を残さないような行為は慎むべきである。通関の規則は通商産業の促進を目的に作られているようで、小規模の調査・観測のための機材の持ち込み、とくに観測終了あるいは修理として持ち帰ることはかなり面倒な手続きを必要とする。NRCT の支援が必要なこともある。いずれにしても現地連絡員が滞在していることは大いに便利である。

バンコクにはいくつかの京都大学のプロジェクト事務所がある。京大 COE21 もその一つであった。共通事務所ができるならば地元との情報交換が促進されるであろう。主題と外れるかもしれないが、このような施設が直接目的にとどまらない好事例を挙げておきたい。家森俊彦らはタイにあるお寺の向きを調査して過去のおける地磁気の偏角の変遷を求めた。その結果を解析して、地球内核の西方移動は約 0.15 degree/year であると推定した。逆にこの地磁気の偏角の変遷を知ることにより、古い建造物の建設時期を知ることでもできるかもしれない。地元への還元である。

(文献)

- 三木晴男 (1967): 近畿地方における微小地震の研究, 特集号「日本の地震学の概観」, 地震, 第2輯, 第20巻, 第4号 150-154,
John H. Hodgson (1980): A short-period seismograph network in Southeast Asia, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 70, 385 - 392.

(著者略歴)

- 1961年3月 京都大学理学部地球物理学科卒業
1961年4月 京都大学防災研究所・助手
1969年 岡山大学理学部・講師
1971年 同・助教授
1978年 同・教授
1982年 ユネスコ本部(パリ)・Senior Programme Specialist
1993年 ユネスコ・ジャカルタ事務所・Senior Programme Specialist
1998年 Chulalongkorn 大学(バンコク)・教授