

地球科学の周辺で

山田道夫 特任教授
(数理解析研究所)



私は、1973（昭和 48）年に京大理学部に入學し、大学院は物理学科の流体物理講座（巽友正先生）で過ごしましたが、その後、1987 年に宇治市にある防災研究所の暴風雨災害研究部門に移りました。気象学の光田寧先生が主催されていた研究室で、微気象の観測を行い、台風や豪雨を研究して防災に役立てる、という趣旨の部門です。着任当初は、まずは観測の経験をということで、露場での風速、気温、湿度、日射量の測定から始め、地表付近のエネルギー収支のグラフを作ったりして、気象学の初歩を学びました。雲からの赤外線によって地面の受け取るエネルギーや、地面からの水蒸気として運ばれる潜熱エネルギーなどが、それぞれ意外に大きいことなど、机上の知識が具体的数値となることが新鮮でした。

着任して間もなく 1989 年から 5 年計画で、光田先生が日本側の代表となって、中国乾燥地における地表面と大気の相互作用を調べる日中共同研究 (HEIFE) が始まりました。甘肅省、河西回廊の入口辺り、ゴビ (Gobi) と呼ばれる地域の辺りです。私は、観測の素人なので実働部隊としては役に立たず、主に中国側（蘭州高原大気物理研究所）との事務的折衝や会議に出ていました。当時の中国は自転車が増え、北京空港の建物は古い駅舎のようで、北京から蘭州への飛行機も旧ソ連製の古い機体で折りたたみ椅子のような座席でした。観測部隊の中核メンバーには、防災研究所の井上治郎先生がおられました。経験豊かなフィールドワーカーで頼り甲斐のある先生でした。しかし、1990 年秋から、京都大学日中合同学術登山隊の隊長として中国雲南省の梅里雪山に遠征された時、消息が絶え、その後捜索も打ち切られました。暴風雨災害部門の研究室を手を振って出て行かれた姿が最後となりました。忘れがたい出来事です。

1990 年 9 月 19 日夜、強い台風が紀伊半島に上陸しました。その日の夕方、観測のため、列車で潮岬に向かいましたが車両の乗客は自分 1 人だけだったことを覚えています。潮岬風力実験所での瞬間最大風速は 59.5m/s で、コンクリートの建物も強風の衝撃で揺れることを知りました。翌日、台風が去った後、林泰一先生と共に被害調査を行いました。根こそぎ倒れた樹木によって破壊された建物や家屋が多く見られ、被災者の方々からの聞き取りは辛いものでした。

当時は計算機シミュレーションがまだ発展途中の段階で、災害研究と理論的な流体力学の間にはまだ埋めがたい溝がありました。一方、災害時も含めて観測データは積み上がりますが、そのデータを解析する手法にはバラエティが少なく、新しい手法が強く求められているように感じました。ちょうどそのころ、数学関係の雑誌の記事でウェーブレット解析という新しい方法があることを知ったので、資料を手に入れて計算コードを作り試してみました。ウェーブレット解析はフーリエ解析に似ているのですが、周波数と時刻をある程度同時に扱うことができるため、時系列を時間と周波数の二次元面に展開することが可能になります。防災研の屋上で熱線風速計によって観測した自然風データは、標準的な Kolmogorov スペクトルを示さなかったのですが、ウェーブレットを用いて時間周波数面で係数の強弱によって二つの時系列に分解すると、一方は Kolmogorov スペクトルを持っていることが分かりました。汚れた時系列から汚れを取り去る可能性を示唆する結果でした。当時、兵庫県の日本海側にあった旧余部鉄橋は、細い谷が海に向かって開ける場所にあり、強風のため橋上の列車が転落したこともありました。その橋上の風速の時系列データは、Kolmogorov の $-5/3$ 乗スペクトルを示すときや、もっと

緩やかなベキを示すときなどが混在していてまとまりのつかないものでした。そこで、当時院生だった樋口宗彦さんらと共にこれらの時系列をウェブレットを用いて $-5/3$ 乗と -1 乗のスペクトルを示す部分に分解してそれらが生起する場合を調べたところ、後者は風が余部鉄橋近辺の崖に沿って吹く場合に生じるらしいことが分かりました。これらの結果を発表したところ、防災研究所の他部門の方からコードのリクエストをいただき、また東大の佐藤薫さんが重力波の解析に用いられるなど、防災研究や気象研究に使っていただいて少しホッとしたことを覚えています。

気象学の方々のお話を伺う機会が増えると共に、気象の数値モデルの結果の理解が難しいということもよく聞きました。そこで大学入学以来の知り合いの余田成男さんと、最も単純化されたモデルとして回転球面上の2次元 Navier-Stokes 方程式を数値的に解いてみることになりました。流体力学の観点からは最も簡単な非一様乱流の一つです。結果は北極と南極の周辺に強い西向きジェットの生成を示していて、以後長い間、これらのジェットの成因を調べることになりました。

防災研究所に5年間ほどお世話になった後は、1992年に数学の部局に移り、東大（数理解析研究科）に10年ほど、その後は京大（数理解析研究所）で定年退職までの17年ほどを過ごしました。振り返ってみると、この間に書いた論文のうち2/3ほどは地球科学と関連する問題を扱っています。防災研究所で地球科学の現場の一端に触れたことは私にとって大変大きなことでした。それらの論文の中には地震工学と関わるものもあります。もちろん私自身は地震の専門家ではないのですが、あるとき当時の原子力発電技術機構（NUPAC）の方から、大規模構造物設計用の強震波のモデル作成について共同研究の提案を頂きました。伺ったお話によると、当時耐震設計に使われていた設計地震動は、応答スペクトルが目標の形（大崎スペクトル）を満たすように考えられていたのですが、応答スペクトルだけでは時間情報の取り込みが難しく、従来の設計地震動は現実の地震波の時間変化とは異なりあまり自然なものではない、については「より現実的」なものを作れないか、ということでした。スペクトルの要求に加えて時間変化もコントロールしたい、ということでウェブレット解析の応用が期待されました。この研究では、複数の大手建設会社の方々も加わっておられ、特に計算手法の改良では企業の方々の大きな努力により、現実的な時間内に設計地震波を生成する手法を開発することが出来ました。その成果は、論文として発表はしたのですが、2011年の東日本大震災の際、東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生したこともあり、実用とは無縁のままになりました。

数学に移ってから始めたことの一つに、地球流体力学のワークショップのシリーズがあります。これは1999年に当時東大数理解析研究科で同僚だった林祥介さんらと始めたもので“Fluid Dynamics in Earth and Planetary Sciences (FDEPS)”という名前をつけました。概ね1年1回秋に開催し、第一線の海外研究者にシリーズ講演を依頼するものとして企画しましたが、規模を大きくしないということを大事な原則とし、参加者を40人程度にして、継続が難しくなるような資金は用いない、ということを目指しました。また、第一回に誰もが認める指導的研究者に来てもらって第二回以降の講演者を招聘しやすくする、重要な研究者にアドバイザーになってもらう、なるべく泊まり込みで議論できる開催場所を選ぶ、など、運営の技術的な面にも気を遣いました。幸い、このFDEPSは、Covid-19の流行により2020年に中断するまで20年以上の間、毎年実施することができ計22回のシリーズになりました。講演者は地球流体力学に関する理論家や実験家、またNASAの惑星気象探査の担当者など多岐に亘りました。地球惑星科学の流体力学の発展を知る面白いワークショップとなったと思いますし、また引き続き次の世代の方々によって運営して頂ければ有難いと思います。私は流体力学の理論研究からキャリアを始めました。当初はまだ計算機も未発達で、流体力学の理論は流れの概形を予想し理解するうえで重要な役割を果たしていましたが、1980年代から90年代にかけて計算機が発達するにつれて、流体方程式の直接シミュレーションが可能となり、流れの概形は数値計算によって予想する時代になりました。これに伴って、流体力学への興味は、理論的な枠組みとしての役割から、具体的な現象を理解する手段としての役割に移ったと思います。私の世代はその移行期にあり、その意味で地球科学の周辺で研究を続けられたことは大変幸運なことだったと感謝しています。今は、若い方々とジェット形成の問題や、磁場中のプラズマの問題など、やは

り地球科学と関係したテーマを扱っています。今後とも、地球科学の方々にご教示をいただきたいと思っておりますのでどうぞよろしくお願いいたします。