

思い返せばいろいろと手を出したものだ —研究生活を総括する—

I have Dived into Various Themes and Types of Researches, but ...
- A Retrospective Essay on my Research Career -

石川 裕彦

Hirohiko ISHIKAWA

Synopsis

This manuscript summarizes my research history. My career started in 1981 as a research scientist at the Japan Atomic Energy Research Institute, where I was engaged in the research on the atmospheric dispersion of radioactive effluents. I moved to the Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University in 1994. My major mission was the research of meteorological hazards such as typhoon, heavy rain and severe storms. In addition to the mission, I was involved in various researches in the related fields. Among them much of my times were devoted to the field observation of energy exchange between atmosphere and land surface. This field research inevitably guided me to the research on the satellite data analysis. It was also exciting to study environmental public health issues with a professor at the department of medicine in Kyoto University.

キーワード: 気象災害, 台風, 暴風雨, 大気陸面相互作用観測, 大気拡散

Keywords: meteorological hazard, typhoon, severe storm, flux observation, atmospheric dispersion

1. はじめに

大学院受験を前に、あるいは合格後の研究室決定の目的で、学生達が研究室訪問にくる。学生のやりたいことなどを一通り聴いてから、おもむろにホワイトボードに2次元マトリクス (Fig. 1) を描き、「研究テーマを決めるときに、現象 (横軸) に着目する見方と研究手法に着目する見方があります。ある現象を扱うのにさまざまな手法があるし、逆に一つの手法を会得してそれをさまざまな現象に適用していく研究者もいます。君はどちらに近いかな」と問う。横軸には境界層乱流から大気大循環までの現象を、縦軸には測器開発→自前の観測やデータ取得と解析→他人 (他機関) が作成したデータの解析→既成モデルを使った研究→自前のモデル作成→紙と鉛筆の理論研究までの研究スタイルを並べてあ

る。この図を見ながら、学生自身の興味を整理して、志望を確認するように促すのである。

さて、図中には数字をたくさん書き込んであるが、これは、各カテゴリーの私の査読付論文数である。改めて眺めると、本業であった中小規模の観測的・解析的研究が多いのは当然としても、大気乱流から地球規模まで、野外観測から理論研究まで、広い範囲に分布している。1994年4月に助教授として赴任した当初に光田教授から「これだけはあいつが第一人者だ…と言われるようになれ」と言われたのを憶えているが、どうやらその教えの逆を歩んでしまい、人様からは「あいつの専門は一体何？」と思われる存在になってしまった。以下にその経緯をたどりつつ、私の研究生生活を振り返る。なお、本文中の文献番号は、業績リストの番号 (査読付きは**bold**, その他論文は*italic*) に対応させてある。

紙と鉛筆	1		2			
自前モデル		10		9	1	1
既存モデル		5	2			
データ解析	21	8	6	1		
観測実験	20	3	2			6
技術開発		1				
	竜巻 境界層 乱	局地 気象	台風	総観 規模	全球 規模	応用 気象

Figure1 A metrics I use when I discuss with the student as per his research theme. The integer in each cell is the number of my peer reviewed paper in the corresponding category.

2. 学生研究

理学部4回生の課題研究は、廣田勇先生のご指導のもと、大気大循環の勉強を進めた。気象学教室の研究は地球規模スケールのデータ解析や力学の研究が主流であり、私もその流れの中で「東西指数と波動による顕熱輸送」という課題研究レポートをまとめた。米国大気科学研究センター（NCAR）で作成された1日2回、2.5度格子の全球解析データを使い、冬期偏西風の強いときと弱いときで、南北の顕熱輸送を担う波動の波長が異なることを示した。磁気テープとカードにパンチしたFortranプログラムを抱え、今出川通りを越えた計算センターに通い、地下の磁気テープ室でテープをかける順番を今か今かと待っていた情景をいまでも憶えている。この研究は、翌年の気象学会誌「天気」に掲載され、査読付き論文の第一報¹⁾となった。

さて、大学院に合格して本格的に気象学の道に踏み込むに当たり、大いに迷った。大循環の研究は大いにエキサイティングで面白いのだが、どうやら同業者が多く競争が厳しそうだ…とか、毎日毎日研究室と計算センターを往復する生活に耐えられるだろうか…とか。そんなおり、1年上の先輩に誘われて防災研究所の光田研究室を訪問した。当時、研究費がついて竜巻関連研究を開始するところで、竜巻渦が2つ3つと分裂するmultiple vortex、台風の渦が楕円形や多角形に変形することなどを知り、これはまだ新しい分野で競争相手も少なく、学部で習った線形論を使えば渦が分裂の様子を説明できるかもしれない…と浅はかに考え(実はどの分野も同じように競争が厳しいとは後にわかった)、宇治の防災研究所で大学院生活を始めることになる。

光田研究室は測器の開発や大気乱流の観測研究など、もともと実験系の研究室であった。修士1年生

(1979年)の時は、台風12号に伴い九州地方で発生した竜巻の被害調査にでかけた。また、秋には本館S棟の東部分が完成し、新しい実験室に設置された竜巻実験装置を使った室内実験を任され、スモークを発生させて渦の写真を撮影したり (Fig.2)、寒い冬の夜に実験装置の下の床に寝そべり熱線流速計を差し込み、流速計測をした。修士2年生春の気象学会では竜巻実験装置で撮影した渦の写真をたくさん示した。

さて、修士論文の準備を始めるに当たり、はたと考え込んでしまった。その時使っていた実験装置は予備機的位置づけで、本番の実験装置ができるのは次の年度の予定。そもそも multiple vortex は米国の実験で既に再現されているから…と。そこで、最初の興味の原点である渦の不安定性の線形解析に挑むことにした。幸い、参考になる研究が2件ほどあり、その中で接線方向波数3以上の不安定性は示されているが、台風の楕円眼に対応するような波数2の不安定は示されていないので、これをやってみることにした。それ以降しばらくの間、紙と鉛筆の日々が続く。運動方程式を円筒座標系に書き直し、変数を基本場と擾乱に分離し、線形化する…。できた式を眺めているうちに、接線風速で決まる鉛直渦度の動径方向分布を少し工夫すれば波数2が不安定になることが見えてきた（と言うと簡単そうだがかなり紆余曲折はあった）。ここまですればあとはしめたもので、接線風速のプロファイルを与えて固有方程式を立て、これを離散化して、研究室に入ったばかりの Micro NOVA のミニコンで解き、プロッターで渦の安定/不安定を示すダイアグラムを描いた (Fig.3)。コンソールの編集画面からプログラム作成でき、カードパンチから開放された。また、教養課程で線形代数を学習した意味（御利益）をこのときようやく納得した。擾乱の発達率や回転周期を第2宮古島台風で観測された記録と比較すると、そこそこ調和して

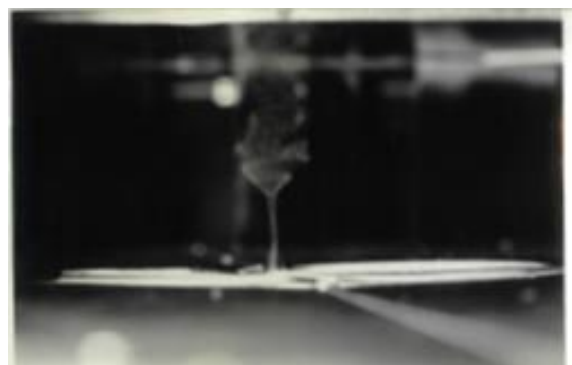


Figure 2 Tornado-like vortex generated in the tornado chamber with Radial_Reynolds'_Number = 2.6×10^4 , and Swirl_ratio=0.4.

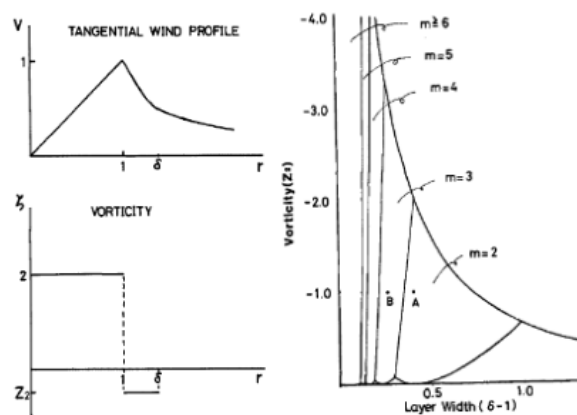


Figure 3 Model Profile of tangential wind and the vertical vorticity (left hand) and the stability diagram.

いたので、これをまとめて修士論文をまとめ²⁾意気揚々と修士論文発表会に臨んだ。ところが、当時の災害気候部門教授だった中島暢太郎先生から、一言「負の渦度なんて、君の思うように都合良く自然は動いてくれないよ…」と言われ、反論できないまま玉砕してしまった。この修士論文の内容はそれから数年後の1987年、新しい渦実験装置を用いて行われた渦の室内実験の成果と抱き合わせて *Journal of Geophysical Research* に掲載された⁸⁾。

3. 日本原子力研究所での13年間 —原子力防災の研究（1981～1994）—

修士2回生の夏の終わり頃だったか、「石川君、君は原子力には興味あるかね…」と声が掛かった。玉砕覚悟で博士課程に進もうと思っていたところに晴天の霹靂というべきか。とりあえず訪問してみたらどうやと言われ、訪問したが最後、話はとんとんと進んでしまった。生来が弱気な私は、きっと「君は大学に残ってもあかんから就職しなさい…」という親心だろうと解釈し、あまり晴れ晴れしい気持ちでは無く、特殊法人日本原子力研究所に就職した。ではあるが、原子力研究所で過ごした13年間は、結果的におそらく博士課程に進学した場合よりも、はるかに豊富な体験を重ねることができたと思っている。

3.1 SPEEDIの開発

1978年に米国スリーマイル島で発生した原子炉事故を契機に、それまでの日本の原子力防災が見直され、1980～1985年の6年間、原子炉事故時に放射性物質が環境中に放出されることを前提とした一連の緊急時対応研究が進められた。その一つが、SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency

Environmental Dose Information; 緊急時環境線量情報予測システム)である。

それまでは、古典的な正規分布型の拡散式で放射性物質の空間濃度が評価されていたが、日本の原子力発電所の特徴である「海岸立地・複雑地形」をキーワードに、3次元拡散モデルで緊急時システムを構成することを目指した。私が風速場モデル担当、1年先輩の茅野政道氏が拡散モデル担当、同期の甲斐倫明氏が線量評価モデル担当と、20代半ばの若い陣容でモデル開発を開始した。米国ローレンス・リバモア国立研究所で開発が進んでいるARAC (Atmospheric Release Advisory Capability) をお手本に、質量保存則を満たすように気流を調整するマスコン・モデル開発を開始し、半年後にはどうにか山を越えたり迂回したりする気流を、‘それらしく’計算できるプロトタイプが動き出した。が、そこから先がなかなか大変であった。

風速場計算、拡散計算、線量計算を矛盾無く進める計算管理システム、気象・地形・核データなどのデータベース化、計算結果を表示する描画ソフトが必要となる。汎用ツールが無かった今から40年前は、これらすべてを自前で作る必要があった。コンソールからラインコマンドとオペランドを入力して計算コードやグラフィックスの実行を制御するマン・マシン・インターフェースの仕様を決め、ソフトウェア会社に発注した。プロのシステム・エンジニアは実に凄いもので、我々が作った仕様書を解析して、「こういう場合はどうするの？××の値が負だと止まっちゃうけどいいの？」など、厳しいご指摘をたくさん受けました。当時この仕事をリードしてくれた計算センター長からは「研究者がcodingしたプログラムを他人が使えるようにするには開発コストの4倍のコストが掛かり、それを商品化するにはそのまた4倍のコストがかかる…」と教えられた。

計算機関連では、当時はFACOM VP100やVP400などベクトル・プロセッサが出始めた頃だった。計算効率を上げるため3次元配列を1次元配列に展開してベクトル長を大きくするとか、mask関数を作ってIF文を避けるなど、アルゴリズムの工夫に没頭した時期もあった。また、風速場計算に登場するポアソン方程式の高速ベクトルソルバー関連の論文⁷⁾や解説^{11) 15)}を書いた。こういう仕事は麻薬のような魅力があり、危うく本業を忘れるところだった。

当時はまた、つくば研究学園都市にある気象研究所、公害資源研究所（現産業技術総合研究所）、環境省環境研究所の大気境界層研究者が開いていた大気境界層研究会に参加し、いろいろ教えてもらったのは非常にありがたかった。私の前任の教授であった植田洋匡先生は、その当時の知り合いである。

3.2 チェルノブイル事故とWSPEEDIの開発

第一報が入ったのは、天皇誕生日(昭和)の前日、4月28日だったと思う(事故発生は1986年4月25日21世界時)。SPEEDIを使ってヨーロッパの放射性物質の拡散を計算できないかという科技庁からの要請である。まずは気象データが必要なので、気象協会に連絡して、4月25日以降のヨーロッパ地域のSYNOP(地上実況気象通報式)とTEMP(高層実況気象通報式)の電文を磁気テープに収録して送ってもらうように依頼しておき、解読プログラムの作成を始めた。まだ客観解析データなど出回ってない時期だったので、とりあえず観測データから風速場を作りだそうという作戦である。4月30日に磁気テープが届き、処理開始。WMOの地点番号表と見比べ地図と比較すると、白ロシア(ベラルーシ)の観測点からの入電が無いのが確認でき、事態の深刻さを肌で感じる。世界の地形データなど整備してないし、計算範囲が広がるので地図投影の歪みも考慮しなくては…と気になる点はあるが、まずは平坦地形とし、歪みはmap factorを風速に乘じることで簡易的に表現し、放出量は単位放出で計算を行った。SONY Tektronix製DSCAN上に表示された濃度分布に、OHPフィルムに白の修正ペンで手描きした地図を重ねて、プレス取材に対応した。

一段落してから、SPEEDIの世界版(WSPEEDI)の開発(Fig.4)に本格的に着手した¹⁶⁾。NCARの全球10分解像度標高データを導入し、地図の縮尺を考慮した地図座標系の式に書き換え、さらにモデル全体を地形準拠座標準拠に書き直した。地図(海岸線・国境)データは、東京にあるカートグラフィック会社が所有していると聞き、磁気テープを持ち込んで、破格の値段でご利用いただいた。印刷地図から読み取った非常に緻密なデータで、そのまま描画するとフィヨルドの海岸線が潰れてしまうため、データを‘適切に’間引くアルゴリズムが必要となった。

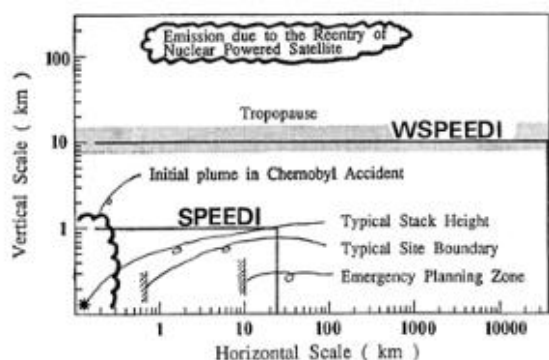


Figure 4 Spatial coverage of SPEEDI and WSPEEDI.

気象データ入手には、随分苦労した。今では全球解析データを誰でもネットワーク越しに入手できるが、当時は気象庁のGANALデータを使うのに、知り合いに照会し、利用申請書を書き、磁気テープを送ってコピーをいただく…という段階を踏む必要があった。オンラインでデータ取得できるようになったのは、ごく最近のことである。

チェルノブイル事故からの放射性物質移流拡散の数値解析は世界的な関心も集め、世界各国の研究機関が参加する国際モデル比較研究へと発展した。欧州共同体(EC)、国際原子力機関(IAEA)、世界気象機構(WMO)が中心となり、ATMES (Atmospheric Transport Model Evaluation Study) や、ETEX (European Tracer Experiment) などのプロジェクトが進められ、プロジェクト関連の国際会議に出席する機会を多く得た。ETEXの準備は私が中心になって進めたが、本番の実施は予定より遅れてしまい、残念ながら防災研究所に異動した後の1994年10月に実施された。

世界版を開発していた頃は、「日本版SPEEDIよりも、近隣国の原子炉事故の影響評価なんかで世界版SPEEDIを使う可能性の方が高い…」などと思っていたのだが、2011年の福島第一原子炉事故により、SPEEDIが稼働することになってしまったのは、非常に残念なことである。

WSPEEDIによるチェルノブイル計算のムービーもこのころ作成した(Fig.5)。現在ではLinuxコマンド一つで、誰でも簡単に動画を作れるが、1990年当時は便利なツールも何もない時代である。計算結果を収録した磁気テープを大阪にあるソフトウェアハウスに渡したところ、会社のプロモーションに使って良いのであれば破格(といえど6桁)の値段で30秒程のムービーを2本作ってくれた。これも、結構時代の先端を行く試みであった。

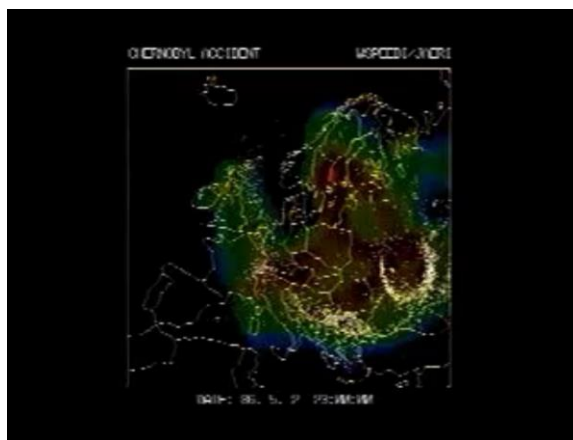


Figure 5 A snapshot of Chernobyl simulation movie. The resolution is rather poor since the media is S-VHS.

3.3 大気拡散実験

原研では大規模な野外拡散実験実施にも関わった。'81, '82, '83年には東海村で、また'94, '95年は筑波山の周辺で、六弗化硫黄 (SF_6) をトレーサーとする野外拡散実験を実施した。実際の観測は財団法人（当時）日本気象協会に委託したため、計画立案と仕様書の作成、実施時の本部指揮（の補助）、そして取得データの解析を実施した。この時は、係留気球に吊るす軽量サンプラーが必要となり、技術職員とともに金魚水槽で使うポンプにタイマー回路と乾電池を取り付け、これをプラスチック製の折り詰め容器に就農した物を「軽量型大気捕集器」とかいふ名称で実用新案の申請をした。こお装置で得られた実験データは、拡散モデルの検証研究に用いられた。

1987以降は、WSPEEDI開発の一環として広域拡散実験を企画した。米国では、Cross Appalachian Tracer Experiment, Across North American Tracer Experimentなどと称する 1000 km を越える領域の広域拡散実験が実施されていた。WSPEEDI開発の一環として、日本でもこれを実施しようという計画である。長距離を移流拡散する間にトレーサー濃度が大きく低下するため、感度の良いパーフルオロカーボンと呼ばれる化学物質をトレーサーがとして用いる。そこで、これらの実験を実施した NOAA Air Resources Laboratory, Brookhaven 国立研究所、スタンフォード大学の研究者を訪問し、分析技術などを教えてもらったのち、機器の導入を開始した。ppf (10^{-14}) レベルの濃度を検出できるパーフルオロカーボンの定量分析には、最先端のガスクロマトグラフ分析技術が必要である。当初は国内ガスクロメーターに打診したが、結局開発元である Brookhaven 国立研究所に製作を依頼した。当時の日本では考えられないような法外な overhead charge、日本の会計年度を跨ぐ納期



Figure 6 Gas chromatograph analyzer for per-fluorocarbon and the staffs, Mr. Kojima, Mr. Odagawa and I from right to left.

等々の契約上の問題に関して事務が納得する説明を編み出すのに苦勞した。着々と準備を進めていた国内での長距離拡散実験であったが、1991年の美浜原子力発電所2号機の冷却水漏れ事故の余波を受けてストップがかかり、実施保留となったままになってしまった。そろえた機器 (Fig. 6) は、研究所構内を対象とした長期間拡散実験に利用された後、私の退職後に日本気象協会へ移管された。最近、気象水文リスク情報（日本気象協会）研究分野により、この技術を用いた小規模な拡散実験が宇治川オープンラボラトリーで実施され、原研時代に一緒にパーフルオロカーボン分析を手がけた小島啓美氏もこの実験に参加していた。

3.4 SPEEDIのその後

2011年の東日本大震災に伴い発生した福島第1原子力発電所の事故時には、SPEEDIは十分に機能していたにも関わらず、その結果が有効に活かされなかったのは非常に残念である。のみならず、SPEEDIそのものが機能しなかったかのように扱われ、モデルによる拡散予測自体が緊急時対策から排除されてしまっているのは日本だけの時代に逆行する現象で、大きな損失である。日本原子力研究開発機構には、私に続き、暴風雨研究室から4名の卒業生が就職し、大気拡散グループの中核を形成している。彼らは上記のような状況にも関わらず、福島第1原子炉事故による放射性物質の放出量推定で世界から信頼される結果を出し、またラージ・エディ・シミュレーションにより近傍での拡散の詳細を解明するなど、先進的な成果を上げてくれていることを、付言しておく。

原子力研究所時代には、他にもいくつか貴重な体験ができた。私が所属していた研究室には環境放射線グループがあり、緊急時関連研究の一環としてヘリコプターから地上汚染を計測するシステム開発を行っていた。観測実施時は、パイロットの隣で地図を見ながらナビゲーションを担当し、茨城県内、渡良瀬遊水池、名古屋周辺などを何度か飛行した。また、ソ連の原子炉搭載衛星が大気圏再突入するから…ということで、当時の航空技術研究所や宇宙開発事業団の研究者とともにその影響を検討し科学技術庁に報告したこともあった。

4. 大気陸面相互作用の研究

私が赴任した時の光田研究室は、「黒河流域における地空相互作用の研究(HEIFE)」が終了し、そのフォローアップ観測として、科学研究費「日中共同乾燥地域自然環境総合モニタリング計画(AECMP)」が2カ年計画で実施されるタイミングであった。赴任して何ほども経たないうちに、光田教授から「センセイ、中国に行ってみないか…」と声をかけられた。これを皮切りに、Fig.7およびTable 1に示す諸地域で主に半乾燥地での気象水文観測に延々と携わることになった。私の本務は気象災害、とりわけ暴風雨災害の研究であるべきであるが、乾燥地の観測研究に割いたエフォートのほうが、前者を遙かに上回る…というのが実感である。本節では、大気陸面相互作用の観測研究を皮切りに、その後退職前年まで続いた海外での研究を振り返る。

4.1 中国河西回廊（日中共同乾燥地域自然環境総合モニタリング計画（AECMP））

HEIFEのフォローアップ研究として実施された日中共同乾燥地域自然環境総合モニタリング計画では、湿度勾配に逆らって地表から大気へ水蒸気が輸送されるカウンター・グラディエント・フラックスの確認（1994年夏）、砂漠とオアシスの間で生じると言われるオアシス効果の検出（1995年夏）を目的とした。原研時代に拡散実験に関わったとはいえ、実際に自分で観測機器を設置した経験は無く、ほとんど「四十の手習い」状態。HEIFEを担当されていた塚本修先生や林泰一先生の後ろをドタバタ駆け回る修行の2年間だった。データロガーの不調を解決するために、読みきれないハードウェアの英語マニュアルを夜遅くまで読み込んで「あーでもない、こーでもない」と頭を悩ませた。観測場所は敦煌まであと400 kmという乾燥地帯、青海西藏高原の北端を縁取る

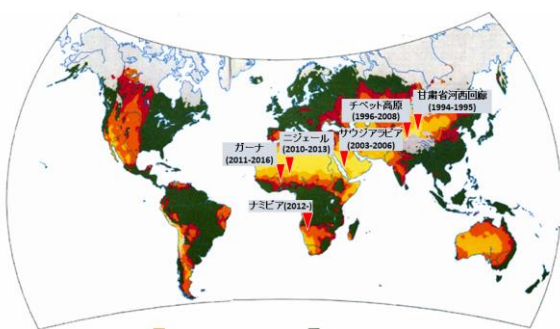


Figure 7 Footprint of my field research sites. The background map is quoted from UNEP 1991.

Table 1 Field observation projects that I participated in.

地域	年度	プロジェクト
河西回廊	94-95	科学研究費（国際学術）
チベット高原	96-00	GAME-Tibet
	98-09	CAMP-Tibet
	05-07	地球観測システム構築プラン
	05-10	JICA-Tibet
サウジアラビア	03-06	人・自然・地球共生プロジェクト
ニジェール	10-13	グローバルCOE
ガーナ	11-16	SATREPS
ナミビア	12-16	砂漠化を巡る風と人と土（総合地球環境学研究所）

祁連山脈の氷河を源とし乾燥地帯をしたのち砂漠の中に消える黒河に沿う地域である。川に沿うオアシスで細々と農業が営まれている他は、砂漠が広がっている。オアシスの内部であってもひどく乾燥していて、汗をかいている実感はないが、知らぬ間に腕に塩が白く浮いてくるような環境である。しかし、1995年の観測では、砂漠の洪水を経験した。一日の予定を終了して宿舎で夕食をとっていると、一緒に観測をしている北京大学の学生が‘Flood! Flood!’と叫びながら走ってきた。何のことかと、とりあえず観測サイト(Fig.8)へ走って行くと、わずかな勾配を持つ砂漠の上流側から、ひたひたと水が流れてきた。テントの中に設置してある計測器本体や計算機（このころはWindows入っていなかった!）を少し高いところに大急ぎで移動したが、この間水の深さはあつという間にくるぶしを越え、ふくらはぎのあたりまで増加した。午後に近くで雷雨があり、そこで降った雨が時間をかけて流れてきたのだという。翌朝、原状復帰して観測を始める前に地面を少し掘ってみた。湿っているのは地表からほんの数センチの間だけで、その下はカラッカラに乾き、水も通さないほどギュッと締まった土壌だった。



Figure 8 A member photo of AECMP-1995. The flood came from the low hill behind the site.

このころ、次のチベット観測の準備がすでに始まっていた。1995年の秋には私一人で蘭州へ出張して HEIFE_AECMP の観測機器を撤収しチベット高原観測用に改造することになり、いきなり観測研究の最前線に押し出されることになった。パジェロに乗りドライバーと二人で砂漠を横断する途中、クラッチが壊れてしまい、通りかかった農民トラクターでけん引してもらい近くの村に引き返し、蘭州から2日かかりで部品を届けてもらい、ドライバーと私と二人掛かりで修理する…なんていう経験もした。

4.2 チベット高原での観測

大気物理の研究が進み気象予報モデルも充実してきたけれど、依然として予報精度は上がらない。ということで、大気へのエネルギー供給の大半を担う大気陸面過程を詳しく調べる目的で、各国の協力のもと全球エネルギー水循環観測研究計画（Global Energy Water Cycle Experiment; GWEX）が世界各地で展開された。アジア域では、シベリア、華中、チベット、タイ、インドネシアで観測研究が実施され、チベット高原観測研究（GAME-Tibet）を担当した。

GAME-Tibetでは、中国気象局が進める観測プロジェクトと調和をとりながら、日本チームは中国科学院の研究所をカウンターパートとし、現地調査と観測地点の決定(1996年)、観測機器の設置(1997年)、暖候期の集中観測の実施(1998年)と計画を進めた。標高4700 m の安多（アムド）を観測拠点(Fig.9)とし、青蔵公路沿の格納木（ゴルム）－那曲（ナチュ）間に自動観測装置（AWS）を配置した（Fig.10）。集中観測は、4月中旬から9月下旬まで5ヶ月間、5隊の観測チームで連続観測を行った。各隊は、京大のフラックス観測グループの他、土壌観測グループ、高層観測グループ、レーダー観測グループなど中国側研究者を会わせて30名近い構成、各隊の観測担当は1ヶ月だが、移動と高度順化に費やす期間を含め、各隊の行動は1ヶ月半となった。私は、設置を担当する1次隊と撤収を担当する5次隊の隊長として参加した。高地での活動には、健康管理が何よりも増して重要となる。その頃はまだ珍しかった血中溶存酸素測定器（パルスオキシメーター）を携帯し、毎朝晩、計測した。新型コロナ感染の基準では、96%未満が中等症とされるが、高原上で夜中に息苦しくて目覚めると、60%台まで低下していることもあった。

現地観測も厳しいものがあつたが、それ以上に頭を悩ましたのはロジだった。特に観測資材の輸送に関しては、COCOMをクリアするための書類作成から始まり、現地の通関、中国の国内輸送など、難題山積であつた。「北京から蘭州までの飛行機が小さく



Figure 9 The Amdo station in GAME-Tibet. The small house near the right edge is the power generator house.

て荷物が載らない…」なんていう連絡にあたふたした。また現地での役務費や車両借料の支払いも任せられ、一時的に経理を担当する権限を付与してもらい、円建ての前渡資金を換金した人民元の札束をポケットにねじ込んだまま行動していた。

観測サイトの電源確保も大問題だった。計測器の省電力化が今ほど進んでいなかったため、フラックス観測を継続するには、100VACの確保が必須だった。ガソリン発電機を2台持ち込み、交互に運転することで連続給電を図ったが、標高が高いのでそのまま使うわけにはいかず、メーカに頼んで燃料ノズルを何種類か（4000m用、4200m用…）用意してもらい、それを付け替えて対応した。集中観測途中で1台が壊れ（タペットを上下させるカムシャフトがねじ曲がった）、スペアパーツを日本から送り修理した。この間、中国製の軽油で回る古めかしい発電機を使ったが、結局これがタフで安定して回ることがわかり、もう1台が破損した後は、これに頼ることになった。このように、ドタバタしながら何とかやりとげた **GAME-Tibet** の連続フラックス観測であつた。この観測に基づく研究論文²⁸⁾³⁷⁾は、チベット高原での最初のフラックス観測として今でもよく引用される。

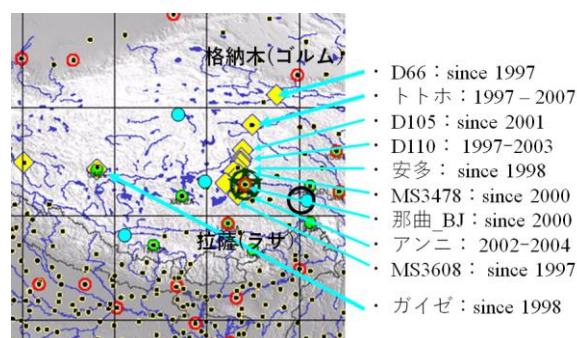


Figure 10 The deployment of project observation stations on the Tibetan Plateau.

Camp-Tibetは、GAME-Tibetの観測網を発展継続し、それを衛星観測の地上検証データ（ground truth）として用いる目的で実施された。観測拠点を安多から那曲近郊のNaqu_BJ baseに移転し、そこに20mの観測鉄塔を設置し2高度乱流フラックス観測、一般気象観測、土壌水文観測や高精度放射観測を実施した。また、その周囲に新たな観測点を設置し、陸面観測も充実させた。**地球観測システム構築プラン**は日本のイニシアティブで地球観測を推進しようという文部科学省の構想によるもので、この一つとしてTibet観測（JEPP-Tibet）が採択され、これまでに構築した観測システムを更新強化した。

JICAプロジェクト「日中気象災害協力研究センタープロジェクト」は、中国気象局気象科学中国気象科学研究院をカウンターパートとし、長江流域の洪水災害を念頭に、チベット高原とその周辺地域を対象に観測から予報技術まで多岐にわたる研究が推進された。この中で、大気陸面相互作用の観測研究を担当し、境界層タワーの新設とフラックス観測に関わった。観測機器の設置のみならず、調整会議や科学ワークショップ参加等、このプロジェクトに関わる中国出張は14回に及んだ。会議は、九寨溝、麗江、黄山、景洪などの景勝地で開催されることが多く、電子アルバムがどんどん膨れていった。一方、本邦研修と称して、研修生を毎年受け入れた。研修生と言っても気象台の中堅以上の方々が主体で、研修内容を充実させるのに随分と時間をかけた。

一連のプロジェクトは2010年には終了した。プロジェクト終了後、高原上の観測施設は、中国科学院に属する西北環境生態資源研究所と青藏高原研究所、中国気象局に発展的に引き継がれ、観測が継続されている。中でもNaqu-BJサイト（Fig.11）は、西北環境生態資源研究所の拠点観測施設の一つとして整備



Figure 11 Naqu_BJ site and Prof. Ishikawa working near the top of 20 m tower.

され、いくつものラボと宿泊設備を備えた立派な建物が併設されている。北京オリンピックの開催された2008年前後から、中国では気象観測データの管理が強化され、日本側で設置した観測機器のデータも、自由に回収することができなくなった。これに関してはカウンターパートと研究協力協定を結ぶことで、カウンターパートを介してデータ供給をうける体制をつくり対応してきた。

これら一連のチベット観測で、1997年から2010年にかけて12回チベット高原に上がった。回を重ねても、しかし、馴染むと言うことはなく、いくら高度順化しても毎回頭痛に悩まされ、鎮痛剤は常備薬であった。高原上では、計測器の信号ケーブルをロープに繋ぎ込むような細かな作業が結構ある。こういう細かい作業をするとき、人は自然と息を詰めてしまう。何本も結線するときは、2-3本ごとに深呼吸して息を整える必要があった。同様に、大きい声で議論するとたちまち息が上がりハアハアしてしまう。高原上では、口げんかは成立しないだろうと思った。現地で生活するチベット民族の人々が特別な心肺機能を有しているというわけでも無いようで、宿舎で水くみをするお姉さんは、踊り場で休みつつ、ゆっくりゆっくりと階段を登っていた。

GAME/TibetからCamp-Tibetの現地活動では、高原の北側から、青蔵公路に沿って高原を南下するルートをはほぼ毎回利用した。チベット高原鉄道の建設時期と丁度重なっていた。毎年鉄路が南に延び行くのを脇目に見ながらの現地観測だった。また、当初は公路沿いに電線2本だけで細々と繋がっていた電話回線は、南に向けて着々と光ファイバーに置き換わって行った。この作業を担当していたのは人民解放軍だそうで、道路と並行して延々と連なる兵士の列が、光ファイバーを埋設する溝を黙々と掘っていた。

プロジェクト終了後は、会議他で2回ほどチベットへでかけた。2019年には、珠峰（チョモランマ）の中国側ベースキャンプにある中国科学院青藏高原研究所の珠峰観測站を訪問した。以前はでこぼこ道をパジェロで踏破した道程が、きれいな高速道路に置き換わっているのには大層驚かされた。観測機器も、日本ではよほど上手いプロポーザルを書かない限り手に入れることのできないような機器が、ふんだんに投入されていた。1994年以降、四半世紀間の中国の国力充実ぶりを肌で感じるところであった。

4.3 サウジアラビアでの観測

サウジアラビアの観測は、文部科学省の人・地球・自然共生プロジェクトの一つとして私の前任の植田洋匡教授が獲得したプロジェクトの一環として実施した。ポンチ絵 (Fig.12) に示すように、砂漠の一部を緑化したと仮定して、水の再循環が成立してこれが永続的に続くかどうかを、観測とモデリングで調べるという野心的なテーマであった。

最初の年は、紅海沿いの港町ジェッダにある旧飛行場の中に乱流計測装置を設置し熱水収支を観測した。翌年には、内陸側の高原上にあるタイフの空軍基地の一角に観測装置を移設して通年観測を実施した。この頃は、観測装置の取り扱いも十分身につけていたのだが、好事魔多し。ジェッダで移設のための撤収時に、頂部に超音波風速温度計を取り付けたポールを倒して測器を曲げてしまった。子細を語るに忍びないしょうもないミスだったが、何しろ気温40℃越、かつ湿度も80%越のとんでもない環境下でのこと。この国では、日中は働かず、午後4時ころから午後の仕事を始めるそう。街中は夜遅くまで大変な賑わいで、暑い日中はじっとして、夕方涼しくなってからが活動の本番というわけだ。

サウジアラビアはスンニ派の本拠で、イスラムの戒律が厳しい。ジェッダに向かう機内でとなりの席に座っていたジーンズの女性は、着陸が近づくと手提げから黒い服取り出して羽織っていた。入国時は、イグレ脇のブースに呼び込まれて、PCの画像ファイルを全部表示するように指示された。男性と女性のエリア区分が徹底していて、MacDonald's®も男女別々だった。タイフでは、大学教授のご自宅に招待されたが、ここでも男性と女性は別々の部屋で食事をとっていて、男性だけで食事する部屋の隣から、女性たちのおしゃべりが聞こえていた。

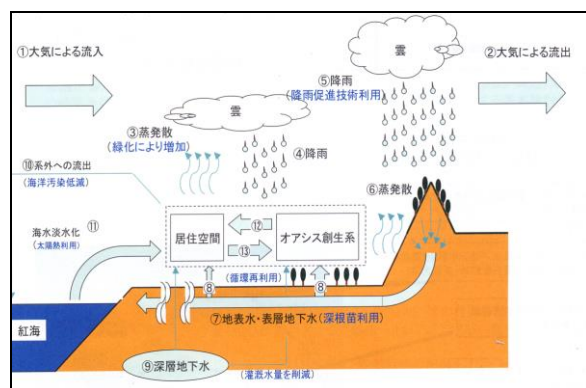


Figure 12 'Forest collects water', the basic concept of the project in Saudi Arabia.

4.4 以降のフラックス観測

フラックス観測業界にどっぷりと浸かると、次から次へとプロジェクトの誘いが来た。チュニジアやカンボジアのプロジェクトは諸処の事情やタイミングの問題で参加できなかったが、防災研究所が獲得したグローバルCOE「極端気象と適応社会の生存科学」の中で、ニジェールで観測を実施した。首都ニアメの約50km南東にある国際半乾燥熱帯作物研究所 (ICRISAT) の研究圃場に自動気象観測装置と簡易式のフラックス計測システムを設置した。この観測は、残念ながら現地の保安上の問題により、予定よりも早く切り上げることになり、フラックスデータ取得も短期に終わった。撤収時には、拳銃と自動小銃を携帯した警備員2名とともに行動するというもののしきであった。この観測は、しかし一方で、天水に頼る乾燥地農業の危うさを知るきっかけとなった。「雨が降ったから種まきし萌芽しても、そのあと2週間雨が降らないと枯れてしまう、何とか予報できないものか…」という切実な要求に、「降水予想なんてそう簡単にはできないよ」とあっさり答えるのは憚られた。ニジェールでは、サハラの大ダストームに巻き込まれる体験をした (Fig.13)。ストーム自体はさほど強烈ではなかったが、ダストに飲み込まれると景色が赤茶けたセピア・カラーの世界に急変し、数時間その状態が続いた。

ニジェール観測の発展で、上賀茂の総合地球環境学研究所のプロジェクト「砂漠化を巡る風と人と土」に参画した。さすが地球研のプロジェクトだけあって、格調高いネーミングだ。ナミビア北部、シマウマやオリックス、運が良ければキリンやアフリカ象に遭遇するエトーシャ国立公園に隣接する農業試験



Figure 13 Dust Storm is approaching to the Niamey the capital of Niger. I was involved in the storm just a few minutes after and the surrounding scenery was dyed in sepia.



Figure 14 A set of local flux station at Namibia

場の圃場でフラックス観測を実施した。農学研究科の研究者は圃場に大量の地中温度計と土壌水分計を設置して、大規模な観測を展開した。ここに設置したフラックス計測システムと付随する自動気象観測装置(Fig.14)は、これまで自分が設置した中で最も sophisticated な組み合わせだと満足している。

国内では試験観測しか実施してこなかったフラックス観測であるが、退職前の2016年から、地盤災害研究部門の松浦教授の研究に協力して、新潟県の積雪地でフラックス観測を開始した。融雪時の雪へのエネルギー供給を調べることを目的としていて、これまでの観測と比較すると、そもそも熱フラックスの向きが逆（下向き）、地形も平坦でなく相似則の成立から確認しなくてはならないという、チャレンジングな観測である。このデータ解析が、退職後の課題として残っている。

4.5 衛星観測データの利用

地上を拠点としたフラックス観測では、顕熱、潜熱、地中熱流量などの時間変化を詳細に計測することができるが、それらは所詮観測地点周辺の限られた領域を代表する値でしかない。一見平坦に見えるチベット高原の草原にも起伏が有り、起伏の盛り上がった部分は相対的に乾燥しているのに対して、相対的に低い地域は湿潤になる。これに対応して地表面温度が変化し、顕熱フラックスと潜熱フラックス（蒸発量）の分配が異なってくる。広い領域のトータルな熱や水のフラックスを知るには、広域を均質に観測する衛星観測データの併用が不可欠になる。

光田先生は「ひまわり4号」の時代から本館S棟の屋上にパラボラアンテナを設置し、ひまわりの観測データを直接受信する中規模局を開設していた。私が赴任した当時は画像データとして利用するだけだ

ったので、気象庁の技術資料を見ながら数値データを取り出すfortranプログラムを作成した。これにより利用価値が大幅に拡大した。ひまわりデータは、当初は台風の雲解析やモンスーンの雲活動の解析に使われたが、学生の奥勇一郎君（現兵庫県立大学准教授）は雲のない部分に着目し、チベット高原の地表面温度を算出し、これをさらに発展させてフラックスの算出、その経年変化研究へと発展させた。ひまわり6, 7号(MTSAT)の時代には、新しく追加された近赤外の観測データを用いた雲粒粒径算出も試みた⁷¹⁾。私の最後の学生である山本雄平君は、最新の「ひまわり8号」のデータを用いて、アジア地域の地表面温度高精度で算出するアルゴリズムを完成させた。地上観測と衛星観測を合わせて解析することで、大気―陸面間のエネルギーの授受を広域的に描出することができる。学生の田中健路君（現広島工業大学）と地上観測データ解析と奥君の衛星データ解析の両者を合わせて、チベット高原とその周辺地域のフラックス長期算出した(Fig.15)。

衛星データの利用は、チベット高原での観測とともに進めてきた中国科学院青藏高原研究所の馬耀民教授のグループが強力に推進してきた。チベット高原上で我々が実施してきた地上観測のデータは、一連の衛星データ利用研究の基本情報として用いられ、私も共著者に加えられた。私の業績のかかなりの部分は、これらの論文に負うところが有り、h-インデックスや引用数などの業績に関する統計情報は、かなり割り引いて見る必要があることを、この場で告白しておく。

最新のひまわり観測データは中規模局で処理できる量をはるかに上回る量となり、現在ではアーカイブ・センターから必要に応じてダウンロードする利用形態となった。屋上に設置したパラボラアンテナは退職直前に撤去した。

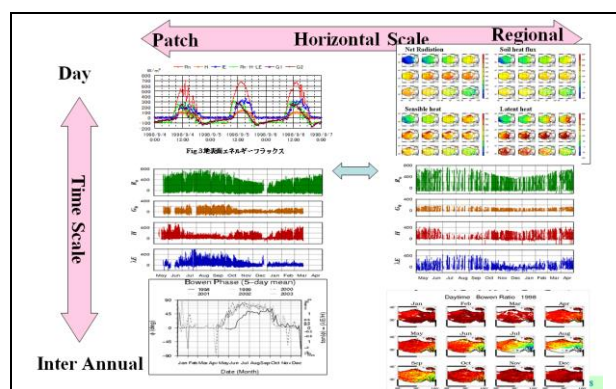


Figure 15 Combination of Surface observation (left row) and Satellite data retrieval (right row) enables regional and long-term estimate of surface fluxes.

5. 気象災害の研究

5.1 被害調査やデータ解析

さて、本務の気象災害研究である。防災関連の研究として最初に関わったのは、修士1回生の1979年台風12号にともなって各地で発生した竜巻の被害調査だった。九州の被災地へ赴き、被害の状況をヒアリングするのは、あまり社交的では無い私には結構難しいものがあつたが、一連の研究成果は防災研究年報に収録された⁽⁷⁾。

1994年に防災研に赴任して最初の仕事は、その年の2月に発生した急速に発達した温帯低気圧（俗に言う爆弾低気圧）の調査とりまとめであつた。これをきっかけとして、初めて自分で獲得した科研費で、急速に発達する温帯低気圧の解析的研究を2年ほど実施した。

1999年9月24日に豊橋市で発生した竜巻の調査も実施した。この竜巻は台風18号が隠岐の島付近を北東進するときに、進行方向右前方象限にあるレインバンド中のメソ擾乱の中で発生した事例で、台風に伴って発生する竜巻の典型例であつた。豊橋市消防局と協力して、写真の収拾、移動経路と時刻決定、被害痕跡のトレースと風速の推定などを、暴風雨災害、耐風構造の協力で進めた。集めた写真の中に日本では珍しい複合渦の存在を示唆するものを見つけ気象学会誌に報告した⁽²⁵⁾。資料中にあつた昭和初期の竜巻の新聞記事には、今回と同じ地名がいくつも登場し、ウームと考えこんでしまったのを記憶している。調査結果はT9918号関連の科学研究費突発災害研究報告書に含まれるとともに、学会誌⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾や豊橋市が発行した災害報告の冊子に寄稿した。また、豊橋竜巻で集めた資料は、その後長い間授業で使わせてもらった。

余談になるが、豊橋竜巻のころは竜巻発生の正確な時刻を決めるのが非常に難しく、電力会社に竜巻通過による断線の発生時刻を教えてもらうなどして、竜巻の位置と時間を定め移動速度を算出した。最近では、GPS付の車載カメラで映像、位置と時刻が記録されているので、この記録を集めて並べるだけで竜巻の移動の様子を記述できるようになった。

これ以降は、2006年の佐呂間町の竜巻現場を発生後かなり日が過ぎてから訪問した以外は、現地調査は行っていない。2005年の強風による羽越線脱線事故、2006年の延岡の竜巻や佐呂間竜巻を受け、気象庁が強風災害の調査態勢を強化した。財政状況が厳しくなる大学が、自前で迅速な現地調査をするのはなかなか難しい。

5.2 数値モデルを用いた研究

そもそも1994年に光田研の助教授として赴任したのは、暴風雨研究に数値計算を導入するという使命を帯びてのことであつた。まず、オクラホマ大学で開発が進んでいた非静力学気象モデル **ARPS** の導入を開始した。また、阪神淡路大震災関連事業として、乱流クロージャーマodelで著名な山田哲司博士が開発した**HOTMAC/RAPTAD**モデルも導入した。これは静力学気象モデル（後に非静力学モデルに拡張された）とカーネル法による拡散モデルから構成されていて、震災時に巨大ガス施設から漏洩する可燃性ガスの拡散挙動のシミュレーションに用いた。

私が本格的に数値モデルを動かした始めたのは、米国ペンシルバニア州立大学で開発された**MM5**を動かした1998年からである。チベットの観測から戻ってくると助教教室に見慣れない中国人研究者が居た。思わず‘Who are YOU!’と叫んだが、彼が植田教授がポストドクで受け入れた王自強博士であつた（王博士は、今では中国科学院大気物理研究所の有名教授である）。彼が、まず**MM5**を研究室に紹介してくれた。彼の帰国後、学生と勉強会を開いてマニュアルやドキュメントを読みつつ、本格的に利用を開始した。最初に適用したのは1998年の7号台風だったと記憶している。御坊付近に上陸、近畿地方を縦断し、室生寺の五重塔損壊をはじめ奈良県を中心に多くの風害をもたらしたこの台風は、台風通過後の後面で強風が吹いた点が特徴であつた。**MM5**による計算でこの特徴が定性的にはあるが再現されたのには驚いた³⁷⁾。このころは、並列計算が世に出回り始めたころで、Pentium 4 のデスクトップ機を8台購入し、自前で並列計算環境を構築した。各PCにRed Hat Linux とmpich（並列化ツール）をインストールし、相互をLANで接続、頭となるPCだけネットに接続し（写真が見つからないのが残念）、チベット高原の1か月ぶっ通し計算、新福岡空港関連の西日本1年間ぶっ通し計算など、論文にはならない計算をずいぶんこなした。**MM5**を用いたまとまった仕事としては、岐阜大学の吉野純氏が学生時代に行ったT9918号に関する一連の研究がある^{28) 29) 32)}。このほか、急速に発達する温帯低気圧のエネルギー源、海面温度を変えたときの台風の発達の違い、九州の線状降水帯の再現実験、台風の温帯低気圧化過程の研究、九州で発生した竜巻の背景場シミュレーションなどを、学生とともに実施した。

そうこうしているうちに、時代は**MM5**から**WRF**へと移行する。私の手元には2007 January のV3.2以降のユーザーガイドからある。**WRF**を用いた研究は、米国大気科学研究所（NCAR）滞任時に**WRF**開発に携わった経験を持つ竹見哲也准教授が中心になって

進めてくれた。私自身の仕事としては、耐風構造分野で実施していた風力発電設備の強風被害に関連して、複雑地形上の気流計算を何例も実施した^{73) 74)}。

WRFモデルは地球温暖化影響評価研究の中でも主要な研究ツールの一であった。私が貢献したのは、Potential Vorticity Inversion (PVI)手法を応用したアンサンブル台風を用いた研究である。「温暖化したときに、台風とそれによる災害がどのように変化するのか、最悪ケースとしてどのような状況を想定すれば良いか」というのが命題である。日本に接近する台風は、平均すると毎年10個あまり、そのうち3個が上陸する。これらの台風の中には、しかし、勢力の弱いものや影響の小さい経路をたどるものも多く、「最悪」を評価するために十分な事例数とはいえない。そこで、事例数を稼ぎ、かつ大雨や河川流出・洪水、強風の分布や高潮高波などの算出に使える情報を創出する手法として考案したのがこの手法である。台風の再現実験結果をベースにして、日本に接近する前のある時点で、台風を異なる場所に移植し、これを初期値としたWRFシミュレーションで、多くの異なる事例（アンサンブル・メンバー）を作り出す。それぞれのメンバーについて、強風被害、洪水、高潮・高波などの計算モジュールで被害を算出すれば、基本となった事例に関して、その最悪ケースを見積もることができる(Fig.16)。台風の移植とは、いわば自然に対する外科手術である。外科的な強引さを極力廃し、物理的な矛盾を最小限に抑えるためにPVIを用いた…、という点が私自身の拘りであった。

数値モデル利用に関しては、自身の研究に利用するだけでなく、国際協力事業の中で海外への導入支援もおこなった。MM5時代の2004年には、JICAプロジェクトの一部として、モンゴル国気象水利局へ並列計算機とMM5運用システムの導入と技術指導を行った。SATREPSでは、ガーナ気象局にWRFを導入

した。気象局の職員のべ6名を研修生として受け入れ技術移転を図るとともに、私もポスドク研究員とともに現地で計算機のセットアップなどを実施した。導入した並列計算機が壊れたので、スペアパーツをガーナまで持参しマザーボードから入れ替える、というようなことも行った。一時は、ガーナ固有の気象データを3次元同化で入れ込み、独自の予報結果を試験的に気象局のホームページにあげるところまで進んだが、入力データの仕様変更に対応できず停止してしまった。メンテナンスに出かけたいところだったが、プロジェクト終了後の資金が工面できず、また新型コロナウイルスによる渡航制限もあり、フォローアップができないまま退職を迎えてしまった。

6. その他の研究や教育活動

6.1 環境衛生研究と福島第1原子炉事故関連研究

最初の経緯は思い出せないが、2006年頃より医学研究科環境衛生学の小泉昭夫先生と共同研究を開始した。小泉先生のラボでは、日本はもとより中国、韓国、ベトナムなど東アジア諸国で集めた血液や母乳のサンプルを大量に保有していて、これらを分析して東アジアの重金属汚染を調べたい、については大気中の汚染物質の移流拡散を計算できるようにしたい、というような筋書きだったと思う。久々の移流拡散の研究で大いに興味をそそられたが、地球観測システム構築プランの最中で手が回らない。そこで、災害気候分野で研修生をしていた新添多聞氏に声をかけ、彼に実働部隊となってもらうことで共同研究を開始した。環境省の振興調整費を財源として進めたこの研究は、先にも触れた（MM5を導入した）中国科学院の王自發教授にもメンバーに加わってもらい順調に進展し、その成果は2本の論文にまとまった⁶⁹⁾⁷⁷⁾。これに加えて、WRF-chemを用いた長期シミュレーションで大阪府下の工場から排出されるPFOA(パーフルオロオクタン酸)の人体汚染を明らかにする研究も実施した⁷²⁾。

これら研究が一段落した頃発生したのが福島第一原子力発電所の原子炉事故である。東日本大震災直後に防災研究所が公募をかけた特別緊急共同研究のひとつに採択され、事故発生年の7月と9月に現地調査に入った。内部被曝に関するファクト取得を主な目的とし、空気中の微粒子を粒径別に捕集するエアサンプラーを設置したほか、1日量の食事に相当する調理済み食品を県内4地域の商店で購入し京都に送り、そこに含まれる放射能量を測定した。水道水や牛乳も同様に測定を実施した。結果は、サンプル中

Virtual Shifting of typhoon's initial position
for Ise-bay typhoon (a Worst Case Scenario)

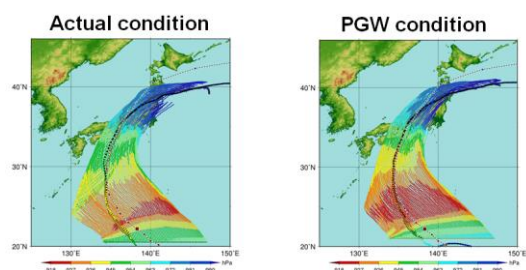


Figure 16 An example of Typhoon ensemble simulation. The worst case of Ise-bay typhoon was searched both for present and global warming environment.

の放射エネルギーは平常値と殆ど変わらず、飲食からの内部被曝は当面心配する必要は無いというものであった。この結果は同年秋に速報として発表し⁷⁸⁾、あわせてプレス発表も行った。かなりのメディアでとりあげられ、概ね好意的に受け止められていた。勿論、批判的な反応も少なからずあり、webをのぞいてみると「…気象災害の研究者が本務そっちのけで…」とか「…放射線の専門家でもないのに…」などの批判的コメントも散見された。どこかのスレッドで「御用学者リスト」に挙げられていたのには閉口した。直接メールを送ってきた例も数件あったが、SNSが今ほど普及する以前だったので、「炎上」とかいう事態にはならないで済んだのは幸いである。福島関連の研究は、環境省の予算、防災研の地域防災実践型共同研究、経産省の「福島イノベーション・コースト構想」の予算などをつないで退職時まで継続し、引用数の多い論文も発表した⁸⁸⁾⁹⁵⁾。

6.2 南アジアのストーム研究

2010年にインドのハイデラバードで開催されたAOGS（アジア・オセアニア地球科学連合）の大会に参加した折、ベンガル湾に面するヴィシヤカパトナム市にあるアンドラ大学を訪問した。これ以降、同大学をはじめ、インド工科大学ルーキー校、ラジャスタン中央大学の研究者と防災研究所共同利用研究などを通じて交流してきた。2010年にはバングラデシュのダッカ大学出身の学生を博士課程学生と迎え、彼女の博士研究指導を通して南アジアのシビア・ストーム研究に関わってきた⁸⁹⁾。

アンドラ大学との交流は、1986年頃、防災研に光田先生を訪ねた折、来日していたRao教授にお会いした時まで遡る。彼の弟子であるS.S.V.S. Ramakrishna教授が進めるベンガル湾のサイクロンの研究にあれこれ意見しながら交流してきた。2016年には共同利用研究（長期滞在）で防災研に3ヶ月間滞在し、ベン



Figure 17 With Prof. Ramakrishna (leftmost) at the Andhra University.

ガル湾のサイクロンをWRFで再現する研究を行った。2019-2020年には、ラジャスタン中央大学のSomeshwar Das教授を代表として、防災研共同利用研究（国際共同利用研究）として、インド、バングラデシュ、ネパールなどの国々で協力してヒマラ山麓ヒンドスタン平原のシビア・ストーム研究を推進する研究体制をキックオフした。

7. おわりに

ここまで書き下してくると、やはり本務である暴風雨研究以外の記述が半分以上を占めることに、改めて気づかされる。原子力災害も、大気陸面相互作用も、広い意味で気象災害に関連することは勿論であるが、防災研究のまっただ中で奔走される先生方を前にして、若干の後ろめたさを感じる。

冒頭にも書いたが、赴任した当初、教授から「これだけはあいつが第一人者だ…と言われるようになるれ」と言われたにもかかわらず、キャリアの終わり頃には、ほとんど発散的にいろいろなことに手を染め、他人様からは「あいつの専門は一体何？」と思われる存在で終わってしまった。学生さんからすると「私は某々先生の指導を受けた」と胸を張って言えるような存在たり得なかった、というか誰からも「あ、某々先生のお弟子さんですか」とは言ってもらえない、後ろ盾として当てにならない指導教員だったと思う。私が主任指導した31名の修士課程学生、9名の課程博士と論文博士の皆さんには、申し訳ない次第である。自身の力でそれぞれの研究を展開していただくようお願いしつつ、ここで本稿を閉じる。

謝 辞

本稿に述べたような様々な研究や体験をする機会を得たのは、私が自分自身で開拓したと言うよりは、むしろ多くの方々から機会をいただいたのが現実であります。私に機会を与えてくださった多くの方々にお礼申し上げます。また不在がちな私をフォローして研究室を支えてくれた、秘書さんはじめ研究室スタッフの方々に、心から感謝いたします。

参考文献

文中で数字を付した参考文献は、別紙の業績集の番号に対応します。**Bold**体は査読付き論文、*italic*体はその他の論文や解説に相当します。

（論文受理日：2021年8月31日）