

光田 寧 先生のご業績

石川裕彦・林 泰一（京都大学防災研究所）

1. はじめに

故光田先生のご業績という、誰もがまず超音波風速温度計を挙げることでしょう。超音波風速温度計の発明が光田先生の最も輝かしい業績の一つであることは言をまたないと思いますが、そのほかのご業績が超音波風速温度計の影に隠れてしまうのは、少し残念なことです。本稿では、光田先生の手書かれた論文をたどりながら、その幅広い業績を改めて眺めてみようと思います。

本稿の執筆は当初石川裕彦が依頼されましたが、なにぶん光田先生のご指導を直接受けたのは修士の2年間（1979-1981）と京都大学防災研究所に着任してから光田先生が退官されるまでの3年間（1994-1997）の計5年間しかありません。そこで、正確を期すために石川が書き下ろした原稿に林泰一が加筆修正する形で本稿をまとめ上げました。

2. 研究の出発点

光田先生の論文は1962年より世に現れます。この年の防災研究所年報に掲載された「鳴門海峡付近の小旋風について」の冒頭で、「筆者は1956年以来鳴門海峡付近において風の局地性を知る目的をもって十数カ所の観測点を配置して観測を行っている」と緒言を書き起こされています。1956年というは光田先生が大学院に進学された年です。滑川忠夫教授のご指導のもと、関西電力株式会社の委託で行われたというこの観測研究が、その後の光田先生のご研究の出発点となったのは想像に難くありません。この観測研究は地形が複雑な地域での強風、特に突風の発生とその性状解明を目的としたものでした。1962年に発表された光田先生の5報の論文の内、2報が突風に関するものです。この工学的観測研究の中から、おそらくは副産物として、小旋風の存在を見つけ出したのが最初に掲げた防災研年報の論文です。鳴門海峡の観測で題材となった風の変動、その中で見つけた小旋風という2つの種が、その後大きく発展していったといえるでしょう。

3. 風変動の研究

鳴門海峡の観測研究がそうであったように、光田先生は電力会社との共同研究として送電線に係る風荷重を調べることを目的とした風変動の研究を進められました。1972～1979年に実施された沖縄県多良間島での観測は電気事業連合会の協力を得て進められたもので、比較的平坦な沖縄県多良間島に、ほぼ東西方向に720mの観測線を設け、これに沿って三杯風速計31台、プロペラ型風向風速計8台を配する大規模なものでした。ここで観測されたデータを岩谷祥美（日大生産工学部）とともに解析し、台風に伴う強風下での風速とその乱流変動の空間構造に関して、多くの知見が得られました。また1980年ころより、関西電力敦賀試験線を観測サイトにして、山岳の複雑地形上での風速とその変動特性の観測を進めてこられました。

今でこそ大量の超音波風速計を配置した観測が行われるようになってきていますが、当時は三杯風速計など応答特性のあまりよくない計測器しかなく、変動解析には限界がありました。光田先生は、早くも1963年に、三杯風速計の観測データからスペクトルを求めた論文「強風時における乱れのスペクトルについて（防災研年報）」を書かれています。それ以降、風速計の立上りの遅れや回り過ぎの影響など、風速計の応答に関する一連の研究を森 征洋（香川大教育学部）と長く続けられ、さらに指導を受けた林 泰一（京大防災研）による"Dynamic response of a cup anemometer"にまとめ

ました。

光田先生は、電力との共同研究の場を、気象学研究の場としても上手に利用されていました。多良間島の観測設備は、後で述べる AMTEX の観測地点として位置づけられたほか、超音波風速温度計や他の乱流計測機器による「地空相互作用」の観測にも用いられました。

4. 超音波風速温度計の開発から乱流変動、乱流フラックス観測

超音波風速計の開発は 1950 年代に米国で盛んに進められていました。風速変動の研究を開始していた光田先生にとって、応答の良い超音波風速計の開発は必然だったのでしょうか、1964 年には、海上電機（株）の技術を得て製作した最初の試作機の論文を水間満郎（京大原子炉）と共著で発表しています。米国の開発グループとの開発競争を含む一連の開発を、佐橋謙（岡山大学教育学部）、水間満郎（京大原子炉）、花房龍男（気象庁）、米谷俊彦（岡山大学）らと伴に推進されました。最初の自然風の観測を、創設間もない潮岬風力実験所で実施したときの苦労話などの経緯については、光田先生ご自身が「天気」Vol. 18, No8 に書かれた解説に記されています。先生は「超音波風速温度計の開発とそれによる大気乱流の研究」により、1971 年気象学会賞を受賞されました。

超音波風速計を用いた観測は陸上から海上にも広がり、1974、1975 年に日本の研究者が主体となり展開された国際共同研究 AMTEX (Air Mass Transform Experiment) では、傾斜計や加速度計を組み込んで船体の動揺補正を行う乱流計測を計画し、その指導の下に藤谷徳之助と林泰一が実施した気象庁観測船啓風丸上での外洋上乱流観測を成功に導きました。海上での観測研究には、石田廣史（神戸大商船大学）によるメソ擾乱による気象要素の変動を扱ったものもあります。さらに、南極にも観測を広げ、井上治郎（京大防災研）を指導して、カタバ風下の運動量輸送の観測研究に成功しました。

超音波風速温度計が完成し運動量フラックスと顕熱フラックスが渦相関法を用いて算出できるようになると次に必要なのは潜熱フラックスです。光田先生が次に取り組まれたのは、水蒸気の乱流変動を計測する機器である赤外線湿度変動計の開発でした。早くも 1967 年には "An Infrared Absorption Hygrometer and its Application to the Study of the Water Vapor Flux near the Ground" (Chen, H.S. と共著) で、赤外線湿度変動計の可能性に着目し、その試作結果を報告されています。その後塚本修助手とともに改良小型化を進め(株)海上電気（現(株)ソニック）による製品化にこぎ着けました。また、1984 年には、大滝英治（岡山大学教育学部）の水蒸気・二酸化炭素変動計の開発に協力し、その完成に貢献されました。こうして、超音波風速温度計、赤外線湿度変動計、二酸化炭素変動計、渦相関法によるフラックス計測の基礎が一通り揃いました。これらの計測機器を総合化して、乱流フラックスの計測手法確立を目指した光田先生は、京都大学宇治グラウンド脇の空き地に「地空相互作用研究施設」を作り、学生らを指導して乱流計測の観測実験を進められました。

乱流計測装置が揃い、またその解析手法も練れてきた時に丁度舞い込んできたのが日中共同研究「黒河流域における大気-地表相互作用に関する日中共同研究(HEIFE)、1989-1993」でした。山元龍三郎教授を日本側代表として進められた河西回廊の半乾燥地域の水資源利用に関連するこの共同研究では、ご自分では観測現場へ行くことのできない光田先生は実質的な責任者として采配をふるわれ、現場責任者の佐橋 謙と井上治郎の協力の下、防災研究所 5 階の研究室から多くの指示をだされて、プロジェクト遂行を指揮されました。中国への精密機械の輸出が難しい時代に、乱流計測装置 4 セット、自動気象観測装置 5 台、境界層プロファイラタワー 2 基などからなる充実した観測機器を持ち込み、半乾燥地域での「地空相互作用」の総合観測が繰り広げられました。乱流輸送量算出には、大学院学生の玉川一郎を指導して作成した各種補正を取り込んだ高精度な解析プログラムが用いられました。プロジェクトの成果は最終年度に京都で開催されたシンポジウムで発表され、また気象集誌 1995 年 5 号、6 号で企画された HEIFE 特集には、合わせて 18 編の論文が掲載されて

います。光田先生はプロジェクトを指揮するばかりでなく、極度に乾燥した砂漠上で、水蒸気が下向きに輸送されていることを示唆する観測事例を見つけ、中国科学院の王介民教授と共著で気象集誌に NOTE として発表されています。1996年には、「日中共同研究 HEIFE の指導的役割を通して、乾燥地帯における地空相互作用の研究を推進した業績」により気象学会藤原賞を受賞されました。

HEIFE は FIFE や MOBILTHY などとともに、WCRP の HAPEX (Hydrological and Atmospheric Pilot Experiment) 計画の一環として位置づけられる大型観測研究でした。HAPEX に引き続き実施された全球エネルギー水循環観測研究計画 (GEWEX) では、世界の各地で熱・水蒸気フラックスの乱流観測が行われました。光田先生の命を受けた京大防災研グループは、石川裕彦助教授が中心となり GAME/Tibet に参加し、足かけ 6 ヶ月にわたるチベット高原上での乱流フラックス連続観測を成功させました。GAME/Tibet までに蓄積されたノウハウは、後に塚本修、文字信貴らによる気象研究ノート「地表面フラックス測定法」としてまとめられました。

ここ 10 年、地球温暖化に関連して森林による二酸化炭素固定量評価への要求が高まり、乱流計測データと渦相関法で熱・水・二酸化炭素フラックスを算出する手法は世界中に急速に広まりました。水蒸気と二酸化炭素またはメタンを同時計測する新しい測器や低電力大容量データロガーの開発、さまざまな補正をメニュー方式で設定して解析できる標準ソフトの開発を経て、今では乱流計測によるフラックス算出手法は農業気象研究者や水文研究者がレディー・メードで利用できる観測法の一つとして定着しつつあります。光田先生が世界に先んじて開発したこの手法が世界的に普及するに際して、しかしながら、本来それを担うべき立場にあった我々がリーダーシップをとれなかったことは、率直に反省しなくてはならないと思う次第です。

5. 大気境界層リモートセンシング機器の開発

超音波風速温度計、赤外線湿度変動計、二酸化炭素変動計とつながる一連の乱流変動計測装置の開発の余勢を駆ったわけではないでしょうが、先生はリモートセンシング機器の開発にも取り組まれていました。1980年には音波を用いた上層風観測装置 (SODAR) の開発を開始されました。防災研究所の屋上にパラボラ・アンテナを設置しその上にスピーカー3個を配置したプロトタイプから始まり、後に科学研究費を得て(株)海上電気(現株)ソニック)の伊藤芳樹とともにフェーズド・アレイ型のドップラー・ソーダーを開発しました。ここで開発された機器は、現在でも株式会社ソニックの主力製品となっています。また、ドップラー・ソーダー開発と前後して、音波と電波を用いて温度の鉛直分布を測る RASS の開発も手がけていました。RASS 開発は製品化までは至りませんでした。最近海外で製品化された RASS が発する周波数変調された音波には、光田先生が試みられた装置と同じ響きがあり、先生の見通しが確かだったことを改めて認識します。

6. 渦の研究から竜巻

さて、話を鳴門の小旋風に戻します。防災研究所耐風構造研究部門の石崎潑雄教授の下で助教授をされていた時代から光田先生は「暴風災害を考える上での小規模擾乱の重要性 (防災研年報、1998)」に着目され、1969年の豊橋市の竜巻、1970年の彦根の強風、1978年の東京竜巻、1991年の岡山の陣風など強風災害の現地調査を早くから進められてきました。現在のように気象庁が災害調査を行う以前にまとめられたこれら調査結果は貴重な資料です。光田先生は、それまでの経験にもとづいて科学研究費「竜巻など瞬発性気象災害の実態とその対策に関する研究 (1979-1983)」を展開されました。この研究では、過去に発生した竜巻の資料収集と、研究期間中に発生した事例の徹底的な現地調査が行われました。この研究ではまた、竜巻状渦の室内実験に特に関心を持たれました。米国の実験装置をお手本に自ら考案された「竜巻発生装置」を用いて、文字信貴助教授を中心に、

さまざまな渦を再現する室内実験が行われました。この実験ではスウォール比の増加とともに単一渦が2つ、3つと分裂する複合渦の生成が見事に再現されるとともに、熱線流速計により流速分布や乱れの計測が行われました。竜巻発生装置は渦の性質を解明するために用いられたばかりではなく、その中に大阪市の街区モデルを入れ大火災時の火災旋風の発生に関する実験も行うなど、理工両面から研究を進めるいかにも光田先生らしい使われ方をしました。

7. 台風の研究

光田先生の台風研究は、「防災対策を立てるに当って当然考えておかねばならない最低限度の台風の基準を示す(標準計画台風(1)、防災研年報より)」ことを目的として進められてきました。台風の構造をモデル化し、発達・移動速度・移動方向などの振舞いの統計的な性質を抽出し、この統計に基づいてモンテカルロ法を用いて多くの台風を発生・移動させ、被害予測を行おうというものです。1962年の「台風域内の風の分布の推算法(防災研年報)」を皮切りに、「標準計画台風について(1)(2)(防災研年報、1965, 1966)」、「被害台風の構造のモデル化について(1)~(3)(防災研年報、1974, 1975, 1976)」、「改良された標準計画台風(1978)」の一連の研究、これら研究の基礎資料となる個別台風の気圧分布や風速分布に関する多くの綿密な調査研究を、藤井 健(京都産業大学)、川平浩二らとともに続けてきました。1980年代には、藤井 健とともにモデルの精緻化と数値解析手法の検討を進めました。御退官前後の1995~1998年には、科学研究費「実時間的な台風風災害予測法の研究」によりこれら研究を集大成され、気象学的な見地からだけでなく、家屋などの構造物の被害、農業被害などを含む700頁を超える総合的な報告書(田中正昭と共著)をまとめ上げられました。退官後には(財)日本気象協会の奥田昌弘とともに実用化の直前までこぎ着けました。

このように光田先生の台風研究は実用指向で工学的色彩が強いものが主でしたが、台風の楕円眼とそれに伴う観測要素振動を発見した「Periodic Variations of Pressure, Wind and Rainfall Observed at Miyakojima during the Second Miyakojima Typhoon(気象集誌、1973、吉住貞夫と共著)」、竜巻の複合渦構造や台風の楕円構造を統一的に論じた「On the multiple structure of Atmospheric Vortices(JGR, 1987,文字信貴・石川裕彦共著)」など、地球物理学としての気象研究に貢献した研究もあります。

8. 衛星データの利用

ひまわり画像の利用研究も光田先生が進められた研究のひとつで、大学院学生とともに取り組んだ「気象衛星ひまわりの赤外輝度データでみた台風 8013 (ORCHID) のライフサイクル(防災研年報 1984)」、「急激に発達した台風 (T8305) の人工衛星赤外画像に現れた特徴について(同 1985)」に始まりました。1990年には、ドル減らし補正予算の好機を捉え米国製の受信装置を購入し、ひまわりの中規模受信局としての運用を開始しました。ここで受信されたデータを用いて、1988年から1992年にかけて大学院学生の邊田有理江と進めた「人工衛星データを用いた台風の発生発達過程の研究(同氏学位論文)、同じく謝 平平(現在 NOAA)と進めた「GMS の赤外画像を利用した降水評価方法の開発とその応用に関する研究(同氏学位論文)」など、気象学的価値の高い成果を生み出しました。

この「人工衛星受画像装置」は、石川裕彦による解析ソフトウェア整備を経て、今もなお防災研究所の屋上に設置され順調にデータを受信しています。パラボラ・アンテナ以外は、受信機、計算機、データ・アーカイブなど全て総入れ替えして、現在ではシンガポール上空 36000km に居る中国の静止気象衛「風雲 2 E 号(FY2E)」から送信されるデータを受信アーカイブしています。この装置によるデータ・アーカイブは、GMS4, GMS5, FY2B, FY2C, FY2E に及びますが、4mmDAT に記録されていた GMS4 データは残念ながら読み出し不可能になりました。まだ未成熟な DAT 技術を用

いたため、メディアとドライブの相性が残ってしまい、記録に用いたドライブが壊れると読み出せないという事態が発生しました。このあたり、新しい物好きの光田先生の嗜好が裏目に出てしまった感があります。

9. 光田先生の教育

最後に光田先生の教育面での貢献についてまとめておきます。光田先生は大学院理学研究科担当として、多くの学生を指導してこられました。また、工学研究科で気象学の講義を分担されていました。先生が防災研究所暴風雨災害研究部門の教授に就任されて以来退官されるまでに指導された学生数は27名にのぼります。また、課程博士、論文博士は合わせて19名の論文を指導されました。以下に、光田先生が指導されて学位を取得した方と学位論文のタイトルを記します。これを見れば、上記で語り尽くせない先生の研究の広がりがわかると思います。

- MAITANI, Toshihiko: Studies on the Vertical Transport of Turbulent Kinetic Energy in the Surface Layer over Plant Canopies. (May 1978)
- OHTAKI, Eiji: Development of Fast Response Carbon Dioxide Instrument and its Application to the Studies of Turbulent Transport Processes in the Atmospheric Boundary Layer. (November, 1984)
- IWATANI, Yoshiharu: A Study on the Spatial Structures of Atmospheric Turbulence in the Strong Wind Conditions. (March, 1986)
- TSUKAMOTO, Osamu: A Study of Turbulent Transport of Heat and Water Vapor in the Planetary Boundary Layer. (May, 1986)
- MORI, Yukihiro: Vectorial Analysis of Wind Data and Its Application to Wind Climatology of Japan. (January, 1988)
- INOUE, Jiro: Surface Drag over the Snow Surface of the Antarctic Plateau. (March, 1989)
- ISHIDA, Hiroshi: Studies of Turbulence in the Mesoscale Frequency Range in the Atmospheric Boundary Layer. (July, 1990)
- YOKOI, Takehisa: Studies of Atmospheric Boundary Layer with Use of Laser Collimator. (January, 1992)
- XIE, Pingping: Studies on the Development and Application of the Rainfall Estimation Method Using GMS Infrared Imagery Data. (March, 1992)
- HETA, Yurie: A Study of the Typhoon Formation and Development Using the Satellite Data. (March, 1992)
- FUJITANI, Tokunosuke: Studies on the Turbulent Transport Mechanism in the Surface Layer over the Sea. (January, 1993)
- YOSHIKADO, Hiroshi: Studies of the Urban Effect in a Coastal Region on the Sea Breeze and Pollutant Transport. (January, 1993)
- HAYASHI, Taiichi: Observation Studies on the Structure of Gusts in the Atmospheric Boundary Layer. (May, 1994)
- ISHIKAWA, Hirohiko: Studies on the Long-range Atmospheric Transport. (May, 1994)
- TAMAGAWA, Ichiro: Turbulent Characteristics and Bulk Transfer Coefficients at the Desert in the HEIFE Area. (March, 1995)
- GAMO, Minoru: Studies on Atmospheric Mixed Layer. (January, 1997)
- ITO, Yoshiki: Development of a Five Beam Phased Array Doppler Sodar and Its Application to Observations of the Planetary Boundary Layer. (March, 1997)

FUJII, Takeshi: A Statistical Study on Typhoons. (March, 1997)

ITANO, Toshihisa: A Study on the Rainfall over the Arid Area in the Northwest China. (March, 1997)

10. おわりに

光田先生が、大気現象の詳細な観測に基づいた実用を重視した気象学を目指されていたことは日本風工学会の功績賞を 1996 年に受賞されたことからわかるとおり、誰しも認めるところです。とにかく当たれば（合えば）宜しいという工学的発想の実用性ではなく、あくまでもしっかりした科学的根拠に基づいた実用性を目指したのが光田先生の研究スタイルでした。この実用的な面があまりに強調されてしまい、光田先生の科学的洞察には、これまであまり目が向けられていなかったと思います。本稿ではこの部分を意識的に紹介しました。

光田先生の業績の足跡をたどると、多方面にわたり幅広い興味を持ち、それら興味の一つ一つを長い時間を掛けて暖め発展させていかれた様子がわかります。例えば、上で述べた標準計画台風研究開発の経緯に見られるように、暫く時を置いて再び戻ってきては、さらに一歩進めることを繰り返して、次第にしっかりした成果につながられました。乱流計測器開発では、エレクトロニクスの発展と歩みを伴いながら、長い時間を掛けて各種計測装置を開発されました。また先生は、その興味を時々の学生の研究テーマとして与えることで学生と共有し、学生の教育とともに研究を進展させて来られました。

本稿では、関係者のお名前の引用に際し敬称を略させていただき、当時の所属を掲載いたしました。