

大気と海洋の作用が生み出す エルニーニョ現象を解明

気象情報やニュースでしばしば耳にする「エルニーニョ現象」。エルニーニョ現象はなぜ起こるのか、地球上の大気と海洋の運動に着目して、その基本的なメカニズムを米国の研究者とともに世界で初めて明らかにしたのが、山形俊男先生です。その後、山形先生はインド洋でも同様の現象が起こっていることを突き止め「インド洋ダイポールモード現象」と名づけました。大気と海洋の相互作用が生み出す気象現象の研究で世界をリードしてきた山形先生に、現象解明のチャレンジの足跡を語っていただきました。

■文学と自然が融和する世界 に惹かれ、地球物理学を専攻

少年時代から海や気象に
興味があったのです。

私は栃木県の宇都宮市で生まれ育ちました。家の近くには、測候所（現在の地方気象台）がありました。確か、その所長の娘さんと私の年子の姉が同級だったので、私も姉とともによく測候所に遊びに行きました。そこに置いてあるアネロイド気圧計、風速計などの観測機器には興味を惹かれました。また、測候所では所員が毎日決まった時刻に気象観測用バルーンを上げるのですが、風に流されながらどんどん上昇していくバルーンを追いかけていました。それで、自然に気象への興味をもつようになったのです。
親戚には農家が多く、両親も庭木が好きだったので、その影響で植物にも興味をもちました。庭の石をひっくり返すと、羽アリやダンゴムシがいて、普段見るのとはまったく違う生態系がありますよね。そういう自然を見るのも好きでした。

高校時代は数学も好きでしたが、文系の科目、とりわけ古文を読むのも大好きでした。しかし、当時（昭和30年代の終わり）は、理工系に進まないと良い職につけないといった風潮があり、母も理

系への進学を望んでいたもので、大学では数学を学ぼうと決めました。ところがいざ入学すると、大学紛争で授業がほとんどなく、空いた時間に社会科学や論理学、文学書などをたくさん読んで過ごしました。この時間が、自分の本当にやりたいことを考え直すための良い時間になりました。もともと寺田寅彦^{※1}の随筆が好きでよく読んでいたのですが、彼が表現する、文学的なものと自然の理解が融和していくような世界にあらためて惹かれて、自分も同じように、自然の理解に迫れる学問である地球物理学を選ぶことにしたのです。

そこからどのように大気海洋の研究の道に進まれたのですか。

地球物理学には、気象、海洋、天文と、分野がさまざまあります。学部生のときには隕石の研究をしました。海洋や気象を研究する大きな転機が訪れたのは、大学院への進学時です。進学先について海洋物理学の権威である吉田耕造先生に相談すると、先生が「うちの研究室には、誰も来ないんだよね」と寂しそうにおっしゃるのです。吉田先生は文章が上手で、授業も文学的でした。それで私は、吉田先生の研究室に入ることになりました。



海洋研究開発機構アプリケーションラボ所長／
東京大学名誉教授

山形 俊男 やまがた としお

1975年東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻博士課程退学。理学博士（1977年東京大学）。九州大学応用力学研究所助手、同助教授、米国プリンストン大学地球流体プログラム客員研究員、東京大学理学部地球惑星物理学教授などを経て、1997年より海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）地球フロンティア研究システム気候変動予測研究領域長ほかを兼務。2012年より現職。米国気象学会スベルドラップ金メダル、紫綬褒章、国際海洋物理学協会 Prince Albert I Medal など受賞多数。

当時、海洋物理学は観測データが乏しく、数学を用いた理論的な研究がほとんどでした。理論研究のみに明け暮れると、実際に海で起こっている現象と、理論研究で導き出した結果に距離を感じるようになりました。そこで、東京大学海洋研究所（現 大気海洋研究所）の木村龍治先生の研究室にも通うようになりました。木村先生とは回転テーブルに水槽を乗せて、何が起きるかを実験しました。地球は自転していますから、水槽を回転させることで簡単な模擬地球をつくり、水の動きを調べようというわけです。海洋研究所は当時東京都中野区にありましたので、本郷キャンパス（文京区）と中野区を行ったり来たりで忙しく過ごしました。木村先生は、本郷では気象学を教

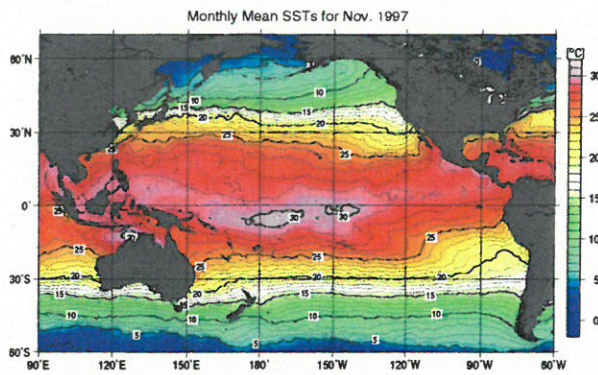
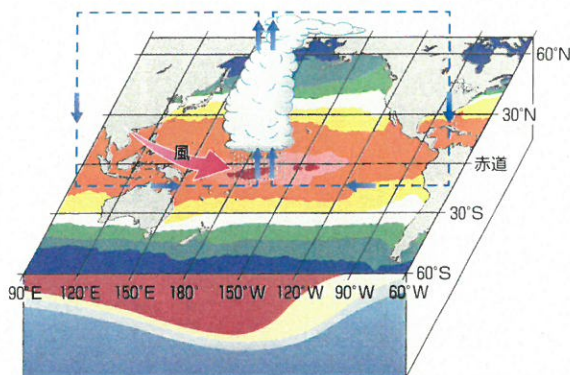


図1 エルニーニョ現象の模式図(左)と、典型的なエルニーニョ現象がみられた1997年11月の海面水温(右)

エルニーニョ現象とは、太平洋の赤道に沿った南アメリカのペルー沖から日付変更線付近にかけての広い海域で海面水温が平年に比べて高くなり、その状態が1年程度続く現象。世界の気象に大きな影響を与えることから、気象関係者ばかりでなく産業界などからもその発生や予測が注視されている。右図は典型的なエルニーニョ現象が発生している時の太平洋における海面水温分布。

右図：気象庁 HP より取得

えていたので、私は、自然と気象研究室にも出入りするようになりました。こうして期せずして気象と海洋の両研究室のフリーパスを手に入れたのですが、このことが後に、大きな意味をもつことになります。

■地球流体力学の理論研究から、現実の自然現象の研究をめざして渡米

気象学と海洋学、その両方を使ってどのような研究を進められたのですか。

1975年、九州大学に海流の理論や海洋循環を研究する講座ができて、そこの助手になりました。実験装置をつくり理論的な研究も行い、2年間に7本ほど論文を書きました。そのうちの1本を海外の著名な研究者に送ったところ、米国ウッズホール海洋研究所のサマースクールに招待されることになりました。世界から集められた10人ほどの若手研究者とともに英語で講義を受け、3か月で論文を仕上げるという内容です。気鋭の若手研究者たちのなかでもまれというハードな経験でしたが、そこで出会った研究者たちは、いまでも良き仲間でありライバルでもあります。

このころ、気象学と海洋学に共通する力学を調べる地球流体力学という学問が勃興はっこうしていました。地球流体力学は、1960年代に興って1970年代に花開いたのですが、それ以前は、気象学と海洋学はそれぞれの長い歴史のなかで独自に発

展してきていました。その2つを統一的にみる地球流体力学という分野が発展し始めたのです。

新しい学問の発展とともに、先生の挑戦も本格的に始まったのです。

九州大学では、地球流体力学に深入りし、回転惑星に生じる渦の研究などをしていましたが、数学的な理論がメインとなる地球流体力学だけをやっていただけでは未来は開けない、という学問の限界を感じ始めていました。あらためて自分のやるべき研究を突き詰め、気象学と海洋学の両方に共通する抽象化した概念ではなく、本来自然が好きなことから、両方が絡むような現実の自然現象の研究をするべきではないか、と考えるようになりました。

そこで、それまでに書いた論文を束ねて米国のプリンストン大学と国立大気研究センターの著名な研究者に送ったところ、どちらからも客員研究員として採用したいという返事をもらいました。私は前者を選択して1981年8月に日本を出発、プリンストン大学に赴きました。それから2年間、著名な海洋学者であるカーク・ブライアン博士や、エルニーニョの研究を一緒に行ったS・ジョージ・フィランダー博士、木星大気の研究で著名なギャレス・ウィリアムズ博士などと充実した研究生活を送りました。プリンストン大学には、各国のそうそうたる学者が講演に訪れ、そのたびにパーティーが開かれるのですが、ブライアン博士らは必

ずその席に私を呼んでくれました。いま、全世界に知人、友人がいるのはそのおかげです。優れたリーダーは、弟子たちにそういう配慮を欠かさないので。

■大気と海洋が結合した現象のメカニズムを解明

この米国での研究員時代に、エルニーニョ現象を解き明かす論文を発表されるのです。

プリンストン大学での最初の仕事として、大気と海洋をつなげる式を完成させました。それまでにあった大気と海洋の運動を支配する簡単な方程式を結合させたのです。風が吹くと海流ができ、熱が移動してある場所にたまります。すると、その上空の大気にも循環が起こります。つまり、いままで別々に発展してきた2つの式を結合すれば、大気と海洋が相互に影響し合う現象を説明できるのでは、と考えたのです。こうしてできた式を当てはめることができる自然現象はないかとフィランダー博士に尋ねると、「この式はエルニーニョ現象の解明に使えるよ!」ということで、直後に学内で開催されたエルニーニョ研究会で仕事を紹介してくれました。たまたま1982年のエルニーニョ現象が発達し始めたところでしたから、熱狂的に受け入れられ、私たちは一躍注目を浴びました。エルニーニョ現象は、20世紀初頭から知られていて、1960年代末には大気と海洋の結合した現象だとされていましたが、数理的にはっきりと

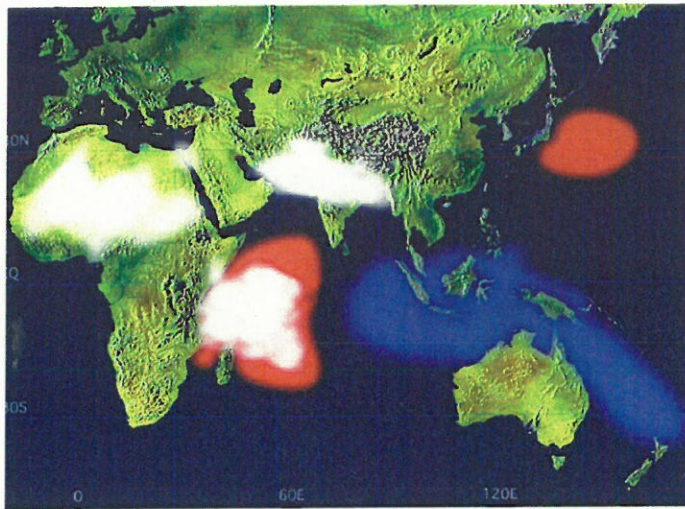


図2 インド洋ダイポールモード現象

インド洋ダイポールモード現象は通常北半球の夏から秋に発生する現象で、インド洋の東側が冷たく、西側が暖かい状態となる。指標はインド洋赤道域の西部と東部の海面水温の差で計算される。指標が正の時は東インド洋がより冷えている状態で、これを「正のインド洋ダイポール現象の状態」という。逆の状況の時は「負のインド洋ダイポール現象の状態」という。

図：JAMSTEC

示した人はいなかったのです(図1)。

私たちは発生原理がわかったということで一時有頂天になりましたが、さらに先を見通した人たちがいました。米国コロンビア大学のマーク・ケイン博士とスティーブ・ゼービアク博士は、私たちの研究の先に行くモデルをつくり、実際に未来予測を試みました。彼らはコンピュータシミュレーションで、1986年にエルニーニョが起ると予測したのです。そして実際にエルニーニョが発生したのですから、気候変動現象は予測できるということになり、爆発的な反響を得ることになりました。

ペルーでは、エルニーニョが発生すると乾燥した地域に雨が降り、栽培している綿花に大きな被害が出ます。そこで、この予測を活用して、エルニーニョ対策として綿花栽培を稲作に変え、農業生産高を上げることに成功しました。これにより、気象や海洋の研究者はもちろんですが、政策担当者も予測の重要性に気づ

くことになりました。

その後、帰国されてから、

また大きな成果を上げられていますね。

私は1991年に東京大学に戻り、1997年には海洋科学技術センター(現 海洋研究開発機構・JAMSTEC)地球フロンティア研究システムの領域長に就任しました。そこで「気候変動予測プログラム」を担当し、若い研究者に国内外から集まってもらって研究を進め、1999年に新たに発見したのが「インド洋ダイポールモード現象(dipoleは、二極・双極の意味)」です(図2)。

これは、インド洋の熱帯域に発生する、太平洋のエルニーニョ現象と似た大気と海洋の相互作用で起こる現象です。エルニーニョ現象と同様に世界の気候に大きな影響を与えることがわかってきて、最近是一般の人にも知られるようになってきました。

また、最近ではインド洋の熱帯域より南で「亜熱帯ダイポールモード現象」も起

ることが明らかになり、エルニーニョ現象も含めてこうした現象の予測と対策にも目が向けられ始めています。正確に季節予報ができるようになると、農業以外にも役立つことがたくさんあります。雨が多いと予測できたら、感染症を媒介する蚊などの繁殖を予想してマラリアの対策を立てることができずし、雨が少ないと予測できたら、ダムの放水量を減らして水不足に備えることができますね。

大気海洋現象の予測研究の発展には、現場の海洋での観測技術に加えて、人工衛星を利用した観測技術の進歩やコンピュータを中心としたIT技術の発達に欠かせなかったわけですが、いまでは模擬地球をコンピュータのなかにつくり出して、精度の高い長期的な気象予測や、海流の流路予測などができるようになっています(図3)。今後ますます、大気海洋の状態の予測と利用が広がると考えています。

□

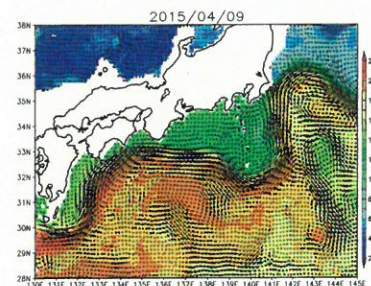


図3 黒潮の流路予測図の例

山形先生は、海流の流路予測やその応用面にも力を注いでいる。図は黒潮の流路予測図。

図：JAMSTEC

※1 寺田寅彦…1878～1935年。物理学者。東京帝国大学理科大学(現 東京大学理学部)教授。文学にも造詣が深く、科学エッセーを多数残している。

バウンダリーを超えて、自分の足で進もう!

私は海洋と気象という2つの学問のバウンダリー(境界線)を越えることで、エルニーニョ現象のメカニズムの解明や、ダイポールモード現象の発見を成すことができました。九州大学の助手時代には、自著論文を自ら海外の研究者に送り、それが認められてウッズホール海洋研究所のサマースクールに参加できました。こうしたことがきっかけで後にはプリンストン大学に招かれることができました。学問の境界線だけでなく、国境を越えて海外にチャレンジすることで、道が開けたのです。

誰かに言われて行動に移すのではなく、自分の意志でバウンダリーを越えましょう。自ら行動しないと、何も生まれません。そのために失敗も重ねましたが、失敗はその原因さえわかれば、その後の成功の礎になります。8勝7敗で勝ち越せば大成功と思って、前向きに挑戦し続けてください。

