

Winds of change

ハリケーンの 成長を予測する

Nature Vol.438(21-22)/3 November 2005

目をねらう：ハリケーンの強さを変化させるものを明らかにするには、ハリケーン中心部のデータを集めることが必要だ。

北大西洋と北太平洋東部で発生する強い熱帯低気圧であるハリケーンは、ほんの数時間で強さを増すことがある。しかし、その詳しい理由はわかっていない。Mark Schrope がハリケーンの目の中に飛びこむ観測機に同乗し、取材した。

10月のある日。ハリケーン「ウィルマ」はその日のうちに、トロピカルストーム（熱帯性暴風雨）から、大西洋海盆で生まれたものとしては記録上最強のハリケーンへと成長した。この変ぼうをだれも予測できず、メキシコのユカタン半島は思いがけなく、ハリケーンの激しい風雨にさらされることになった。

ハリケーンが通るとみられる進路の予測は、ここ数十年間で劇的に進歩している。たとえば米国海洋大気局（NOAA）によると、ハリケーンが上陸する72時間前に作られる「進路予測」の精度は、1970年から50%以上の改善をみせている。しかし一方で、ハリケーンの強さを予測するモデルは比較的遅れたままだった。ハリケーン内部の力学を支配する乱流現象はきわめて

複雑だ。そして、乱流そのものや、ハリケーンの強さに乱流が果たす役割の理解が進まないなかで、ハリケーンの全体的な長期予測は大きく改善されてこなかった。

今年、そうした状況の改善が米国中のハリケーン研究センターにとって、緊急の課題となった。今年の大西洋のハリケーンは記録上、最も活発だった。そのシーズンの間、いくつかの新しい研究計画がハリケーンの強さの問題に取り組んだ。こうした動きは遅すぎたかもしれない。最近出された2つの研究では、地球温暖化のため、ハリケーンが将来さらに猛烈なものになるかもしれないという^{1,2}。それが本当なら、ハリケーンの被害を受けやすい沿岸地域に住んでいる数百万人の住民は、これまでよりも大き

な危険にさらされるわけで、高精度な予測の重要性がさらに高まることになる。

ハリケーンの専門家で、コロラド州ボルダーにある「大学間大気科学研究協力機構」の代表である Richard Anthes は「進路と強さに関する正確で信頼できる予測が可能になれば、社会に大きな利益をもたらすだろう。膨大な量のエネルギーを節約し、ばく大な数の人命を救うことになる」と話す。

最も大規模な新しい研究計画の1つが、3年間で300万ドル（約3億5,000万円）の予算をかけ、ハリケーンの強さがいつ、どのように、なぜ変化するかを調べる計画だ。この計画は「ハリケーン降雨帯強度変化実験」（RAINEX）といい、全米科学財団（NSF）が研究資金を出すもので、航空機による多数の



研究者たちはP-3型航空機に搭乗してハリケーン「リタ」を横切って飛び、データを集めた。

観測データと実験的なコンピューターモデルを組み合わせた研究が行われる。今年8月と9月、RAINEX計画のため、ドップラーレーダーを装備した航空機3機がハリケーンの中心部を飛んだ。使用された航空機はすべてWP-3D（通称オライオン）という型のハリケーン観測機であり、一般的にはP-3の型名で知られている。そのうち2機はNOAAが保有している。3機めは米海軍が保有し、ハリケーン観測用としては現在最も進んだドップラーレーダーであるELDORAを搭載している。

次々と襲来

4年前にRAINEX計画が初めて提案されたときには、研究者のだれも研究計画がはじまる最初の年にほとんど「理想的」ともいえるハリケーン群が現れるだろうとは予想していなかった。今年、沿岸住民が何度もハリケーンに襲われていたその間、RAINEXの研究チームは、いつかそのような惨事を防ぐのに役立つ可能性のある大量のデータを集めていたのだ。

8月にはハリケーン「カトリーナ」が、目の周囲に対称に降雨帯を作った。ハリケーンの強さを弱める可能性のある特徴が発達せず、予報官たちはやきもきした。9月にはハリケーン「オフィーリア」が、米国南東の沿岸に継続的に停滞したことで、研究チームはハリケーンが比較的低温の海水上で、どのよう

に強さを維持するのかを観測することができた。またその後、同じ9月にハリケーン「リタ」が突然その強さを増し、最高ランクのカテゴリー5に達した。

リタがカテゴリー2に弱まった後、私はその中心部へ飛行するP-3機のうちの1機に乗せてもらった。同乗したワシントン大学（ワシントン州シアトル）のBrad Smullはハリケーン予測のむずかしさについて、「リタはわずか8時間の飛行の間に、カテゴリー3からカテゴリー5まで強まった。これはとてもエキサイティングな現象だった」と飛行機のエンジン音とハリケーンの騒音が響く機内で話してくれた。リタの目に達するため、ハリケーンの中を繰り返し飛ぶことは、独特の興奮をよび起こす経験だった。ハリケーン観測機に乗るのが初めての私には、ハリケーンが比較的弱くなっているとはとても思えなかった。ときどき飛行機がガクンと動くと、自分の体を支えるためにP-3の天井についている手すりを強く握りしめるというありさまだった。

RAINEXが調べている仮説の1つは、ハリケーンの周囲を旋回する降雨帯がハリケーンの目にエネルギーを注入するため、ハリケーンがその強さを増すという考えだ。目のすぐ外側を吹く風（「(台風の)目の壁」といわれるもの）が強くなると、降雨帯は目の中へらせんを描いて移動する傾向がある。これ以外のケースとして、外側の降雨帯

が自ら環状の構造を作りだすことがある。つまり、2つめの「目の壁」を目の周囲に形成しはじめる。これが起きると、2つめの目の壁は内側の目へのエネルギー供給を断つため、1つめの目の壁は崩壊しはじめる。そして、一部のケースでは2つめの目の壁が主要な目の壁になるのに十分なほど存続し、さらにもっと強くなりはじめることさえある。

いつ、どのようにこの目の壁の交替が起こるのかを正確に知ることは、ハリケーン予測で重要だ。しかし、この現象を理解することは、ハリケーンの中のエネルギーの流れを調べることであり、これは簡単な問題ではない。

ハリケーンには、蒸発によって海洋から大気に熱が運ばれるときにエネルギーが供給される。水蒸気は、上昇し、雲に凝結する際にエネルギーを放出する。このプロセスがまた周囲の空気を熱し、上昇させる。こうした水蒸気や空気の上方への動きによって、その下の気圧が下がり、風が吹きはじめる。

意外にも、海からトロピカルストームへ運ばれるエネルギーの量と、海からカテゴリー5のハリケーンに運ばれるエネルギーの量にはほとんど差がない、という概算結果が示されている。ただし、ハリケーンではエネルギー輸送の大半がハリケーンの目という相対的に小さな領域に集中する理由はまだ解明されていない。エネルギー輸送が集中しているこうした領域は、ハリケーンの強さの変化にきわめて重要な役割を果たしているはずだが、大きさが小さく、すばやく動き回ることがあるので研究がむずかしい。

空中のダンス

台風の目の壁と降雨帯がどのように相互作用するのかを深く理解するためには、両方の構造を同時に観測する必要がある。しかし、ハリケーン調査のための飛行は通常、ハリケーンの目を十文字に横切って飛ぶため、それができない。RAINEX計画は、3機の飛行機を同時に使う。1機は目を横切って飛び、

もう1機は主要な降雨帯の内側の縁を飛び、3機目は降雨帯の外側の縁を飛び、こうした観測はこれまで行われたことがなかった。「このような観測を実現できたのは、本当にすばらしい」とSmullは話す。

この3機の飛行機による航空ダンスを調整するのは簡単ではない。3機はコンピューター上のチャットルームとそれぞれ衛星回線でつながっており、回線を通じて飛行中の科学者たちはお互いに、そしてフロリダ州マイアミにある指令センターと「会話」することができた。飛行経路は、チャットルームの情報とレーダーデータに基づいて常に修正された。ワシントン大学のRobert HouzeとともにRAINEXの主任研究者(PI)を務めるマイアミ大学のShuyi Chenは、「飛行の調整には神経をすり減らした」と話す。

おのおのの飛行機は、ドップラーレーダーを使って雲の構造と風に関する主要なデータを集め、それをあわせて、最大の乱流が発生している場所を突き止める。しかし、レーダー情報をもとにハリケーンの3次元図を描くには、気温と風の垂直方向の分布が必要だ。だが、航空機は垂直方向の分布情報を調べたくても、真下に向かって降下することはできないし、5,000フィート(約1,500メートル)未満の高度を安全に飛ぶこともできない。このため、研究者たちは投下ゾンデという装置を

使う。重要な地点で飛行機から投下ゾンデを落とすと、ゾンデは海面に着くまでの間に、気温や気圧、風速のリアルタイムデータを無線で送ってくる。

しかし、ハリケーンの強さについて理解を深めるには、航空機からのデータだけでは足りない。米国立大気研究センター(コロラド州ボルダー)でRAINEX計画にかかわるWen-Chau Leeは「実をいうと、観測ではハリケーンの全体像は得られない。複数の飛行機で8時間の観測を行っても、得られるのはハリケーンの『スナップ写真』にすぎない。ハリケーンの24時間の変化を追ってはいないのだ」という。

進む研究

こうした「スナップ写真」を分析するには、コンピューターによるモデル化が必要だ。研究者たちはマイアミにある作戦本部で、実験的なモデルを使い、予測とハリケーン観測機から届くデータを比較する。

「ハリケーンがなぜ強さを変えるのかをより深く理解することができたら、ハリケーンの進路予測も改善できるかもしれない」とLeeは話す。ハリケーンの進行方向を最も大きく左右するのは広範囲にわたる外的要因だが、ハリケーン内部の力学も重要なのだ。

RAINEXのほかにも今年さまざまな研究計画が進んでおり、こうした研究の成果は、ハリケーンの強さの変化

をめぐるたくさんの疑問に答えるのに役立つだろう。研究計画のうちいくつかは、NOAAのマイアミにあるハリケーン研究部門が統括する研究プロジェクト「ハリケーン強度予測実験」(IFEX)の一部である。

IFEXは、北太平洋での暴風雨の崩壊や、太平洋東部における熱帯低気圧の初期形成過程の研究など、さまざまな計画を含んでいる。これまで研究者たちは、十分に成長した暴風雨だけを研究しがちで、暴風雨の完全な全体周期の研究が不足していた。IFEXには、投下ゾンデよりもずっと高い分解能で暴風雨の低層を観測するための無人航空機をテストしている研究もある。

こうした研究の多くがすぐに成果を上げるだろうと、多くのハリケーン専門家が確信している。Anthesもそのひとりで、地上観測データと衛星観測データの向上、それにコンピューターの性能向上により、来年以降のハリケーンの強度予測は改善されるはずだという。「ハリケーンの強さがこれ以上正確に予測できない、という根本的な理由はないと思う。きわめて高分解能のモデルと雲物理と雲力学のより深い理解が必要なだけだ」とAnthesはいう。

そのような高分解能モデルの1つがすでに、NOAAの「環境モデリングセンター」(メリーランド州キャンプスプリングズ)で開発中だ。このモデルは「ハリケーン天候研究・予測モデル」といい、2007年に運用をはじめることになっている。RAINEXやIFEX、そのほか進行中の研究計画の成果を取り入れ、現在おもに使用されているモデルよりも1桁近く高い分解能をもつ予定だ。今後の来たるハリケーンシーズンの到来を恐れている沿岸住民にとって、そうした進歩が早すぎるということはない。■

Mark Schrope は米国フロリダ州のフリーランスライター。

1. Emanuel, K. *Nature* **436**, 686-688 (2005).
2. Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A. & Chang, H.-R. *Science* **309**, 1844-1846 (2005).



P-3型ハリケーン観測機