

Interview

研究者に聞く

空の十字路の中心で 雲と雨の変化を観測

インドネシア海洋大陸に特有の現象を解明していきたい

森 修一 研究員

地球観測フロンティア研究システム水循環観測研究領域

インドネシアは世界でもっとも雨が多い地域のひとつ。ここで水蒸気が雲となり雨として降りそそぐときに大量の熱（潜熱）を放出して上昇気流を生み、ハドレー循環やウォーカー循環といった大気の大循環を形作る。つまり大循環を生み出す源となっているのは、この地域の雨なのだ。広域水循環グループの森修一研究員は、現地気象局などと協力関係を結びながら、熱帯の気象に顕著な日周期変化を中心にインドネシアの雲と雨のふるまいを調べている。観測開始から約3年が経過した今、現地での観測と研究から見えてきたことは何か、エルニーニョ現象など、私たちの生活に影響するより広いエリアの気象との関連も含めて、森研究員にお話をうかがった。



Blue Earth編集部（以下BE） インドネシアのどこを拠点に、どのような観測を行っているのですか。

森 メインベースはインドネシアの西端、スマトラ島のコタバン観測所です。スマトラ島は本州と同じくらいの大きさで、西側に平均標高約2,000mの山脈があります。コタバンはもともと現地気象局の観測所で、その中に私達の観測機器を設置し現地気象局の方々と協力して観測を行っています。

ここには境界層（鉛直）レーダーや音波レーダーが設置されており、地上から上空約6kmまでの風や雨の鉛直分布が測れます。気象観測用のGPSでは、衛星からの電波が大気の中の水蒸気に障害され時間が遅れる現象を利用して、水蒸気の鉛直積算量（可降水量）が分かります。どんな大きさの雨粒がどれくらい降っているのか調べる雨滴計もあります。これらは全て自動観測なのですが長期間正確に観測するのはなかなか大変で、適切な観測機器の保守管理やデータ回収のためには、現地気象局などとの協力体制は欠かすことができません。

また、特徴的な季節（雨季や乾季など）を狙って年に数回、約1ヶ月の集中観測期間を設定して「高層ゾンデ観測」を行います。これは気温、湿度、気圧、風を測るセンサーを気球に付けて上空に上げるもので、センサーから刻々と電波で地上にデータを送ってきます。このゾンデで地上から高度30kmまでを測ることがで

きます。1回の集中観測で、この毎日4回（あるいは8回）気球を上げる作業を4週間続けます。

BE ここに観測拠点が置かれたのは2000年と、わりと最近のことなのですね。

森 世界有数の多雨地域であるインドネシアは、地球規模の水循環を考える上でたいへん重要な場所です。海水温が高く、太陽からの日射量も多い。海面から供給された大量の水蒸気が上空に持ち上げられ、やがて凝結するときに大きな熱（潜熱）を放出します。これが大気を暖めることによって、さらなる大規模な上昇気流を形作ります。ですから雨がたくさん降る地域は、大気の大循環を駆動する熱エンジンの中心と言うことができます。

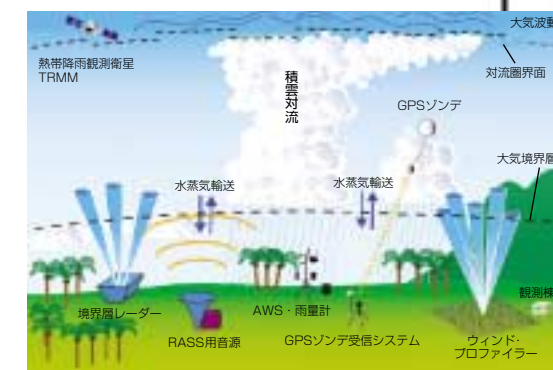
ところがこの地域は観測が手薄なところでもあります。赤道付近はほとんどが海のため高層ゾンデ観測点が少なく、陸地であっても経済的な問題などもあり十分な観測が難しい国も多くあります。日本の高層ゾンデ観測は約20地点で1日に

4回行っていますが、はるかに広いインドネシアでは11地点で2日に1回にすぎません。

気候変動やエルニーニョ現象を調べるために、大気大循環モデルを用いた数値計算による予測を行いますが、計算に必要なとなる初期値はもともと高層ゾンデ観測結果を編集したデータセットから成り立っています。しかし観測の少ない赤道付近の初期値は、過去のデータや両半球にある周辺観測点データから計算で求めたものが用いられています。これでは赤道上空の初期値や、これから求めた計算結果が正しいのかどうかの検証も困難です。また、人工衛星による観測データについても地上観測との比較、検証が欠かれません。このように、いま私たちの観測しているデータは私達自身の研究目的だけではなく、気候モデルや衛星観測を用いた研究にも貢献することが期待されています。

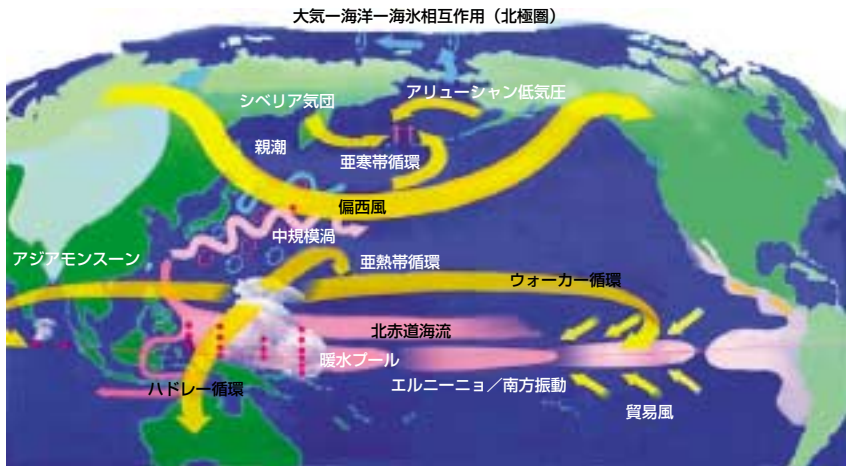


集中観測体制以外の時期には、気候変動をターゲットに自動観測機器を使って長期のモニタリングを行っている



インドネシアは経度にして東西50度、約5,000kmのエリアで、赤道全周の約7分の1を占める。その最西端、海拔約1,000mの高地に観測所がある

Interview 研究者に聞く



「熱エンジンが駆動する大循環システム」インドネシアは熱と水を運ぶ十字路の中心にある

一方、海洋科学技術センターによる本格的な陸域気象観測は、私達の観測フロンティアによるものが初めてです。日本国籍である船の中とは異なり外国における観測ですから、事務手続きの違いも多々あり最初は苦労しました。現地では四駆の自動車も登れない山道を徒歩で荷物を背負って登ったり、観測機器を設置する時にはツルハシとシャベルをふるいつつ配線用の溝を掘ったり、なかなか力仕事の部分が多いのですが、現地の気象を肌で感じながら自分でデータを取って研究できるところが大きな魅力ですね。

BE この地域の雨の特徴はどのようなのですか。

森 もっとも顕著なのは「日変化（日周期）」です。例えばコタバンでは夕方と同じ時間帯に雲ができ雨が降り、これに伴う潜熱が大気を温めるサイクルを毎日繰り返している。長期にわたって積算されたこの日変化が大気の大循環の源となるのです。その次に大きいのは「季節内振動」です。およそ40日周期で大規模擾乱（雲システム）がインド洋から入り太平洋側に抜けて行きます。この大規模擾乱が来ると日射が遮られて日周期の対流活動が抑えられ、シャワー性の激しい雨（対流性の雨）が少なくなります。一方、大規模擾乱の中では、梅雨のようなシトシト雨（層状性の雨）が1日中降り続きます。対流性の雨は非常に激しく降りますが長続きせず、年間で見ると長時間継続する層状性の雨が多く雨量を稼いでいます。もちろん雨季と乾

く表現されていません。また、この変化が地域によってかなり違うのです。

衛星観測のデータをみると、陸地は夕方から夜の雨が多く、海の方は夜中から朝が多い。しかも海上の雨は海岸線から離れるに従って雨のピーク時間が遅くなります。もっと詳しく調べてみると、海岸線を境にして、雨の一番強い場所が、昼過ぎからは内陸側に進み、夜からは沖合に進んでいくというように、時間によってずれていくのがよく分かります。

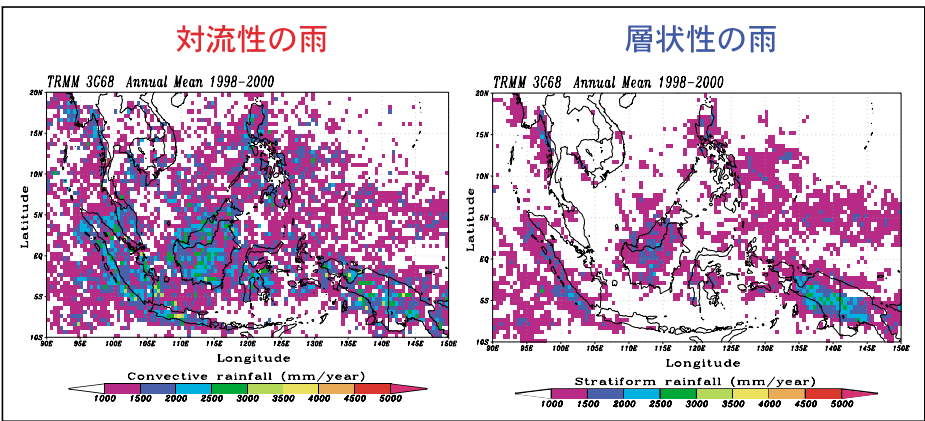
また、陸地では夕立のような対流性の雨が多いのですが、沿岸部から沖では対流性の雨と層状性の雨がほぼ同率で降ります。対流性と層状性の雨では、雨が降るときに大気のどの部分を最も暖めたり冷やしたりするか、つまり雲を鉛直に切ったときに熱源や冷源がどの部分に位置するかが大きく異なり、まわりの大気に与える効果も変わってきます。この雲の中で起こる大気との熱や水のやり取りをより詳しく調べていくことによって、数値モデルに入っている計算手法の高精度化にも繋がると考えられています。このように雨の性質、降り方、場所などが島の周りで1日の間に大きく変わっています。地形や海岸線の存在がとても重要な役割を持っていると考えられますが、これは今後の課題の1つです。

BE 今後も日変化の研究を続けられる

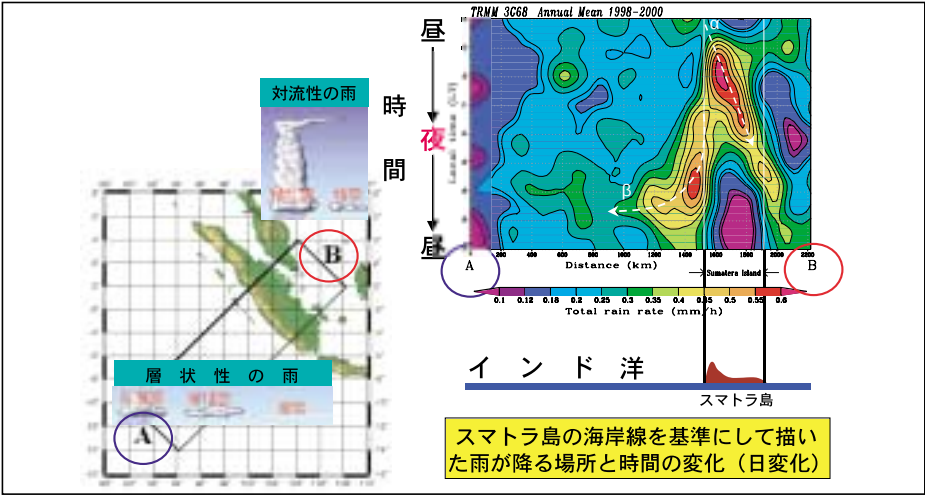


観測に現地のカウンターの協力は欠かせない。現地の農業や水力発電、災害予防のために気象データを提供するのも大切な役割だ

「インドネシアに降る雨は 対流性の雨と層状性の雨」熱帯降雨観測衛星（TRMM）から観た、雨の種類（降り方）別に分けた雨の分布図（1998-2000年を平均した年間降雨量で表している



「島と海をめぐる雨の行進」1日のうちでも、場所と時間によって雨の降り方は変化する



のですか。

森 そうですね。日変化は非常に単純な変化ですが、より大規模な場と密接に関わりあっている興味深い現象だと思います。いまは多地点の高層ゾンデや地上観測のデータを用い、上空の風や水蒸気分布の構造および変化を立体的に調べることによって、降水ピークの日周期海陸間移動のメカニズムを調べています。昨年には海洋地球研究船「みらい」のインド洋観測航海に乗船し、ドップラーレーダーや高層ゾンデによる観測も行いました。乗船観測と同期した陸域観測も行ない、海上―沿岸―内陸の3地点における雨の降り方や大気構造、それらの日変化がどのように異なっているのかを明らかにしたいと考えています。

インドネシアは大小数多くの島々から構成されており、気象学的にも大陸と海洋の性質を合わせ持つことから「海洋大陸」とも呼ばれています。陸と海では熱容量が異なり、陸には大規模な山岳があり、そして長い海岸線が複雑に入り組ん

でいるため、そこには実に多様な局地循環系が生じているはずです。これらの相互作用の結果として、単なる海洋でも大陸でも起きないような特徴的な雨の降り方が起こり、世界の気候に影響を与える規模の多雨地域を作っていると考えられます。その意味では単に日周期変化だけではなく、今後も海洋大陸というユニークかつ興味深い地域に軸足を置いたテーマを研究していくつもりです。

BE この地域の気象はエルニーニョ現象とも関連があるといわれているようですが。

森 西太平洋でエルニーニョ現象が発生するトリガーとして、急に西風が強く吹きだす「西風バースト」が重要だという説があり、これをもたらすのが先述の大規模擾乱ではないかと考えられています。また、エルニーニョに類似した現象であるインド洋ダイポールモードの発生との関係についても注目されています。

その一方で、この大規模擾乱はインドネシアから西太平洋に抜ける間に一旦見

えなくなるほど弱くなります。この大規模擾乱がインドネシアの地形や日変化の影響でどのような変質を遂げるのかについては、まだほとんど詳しいことが分かっていません。

私達のグループではインドネシアの東端にあるビアク島でも大気レーダーによる観測を計画しており、これによって大規模擾乱の通過に伴う大気構造の東西変化を調べられるようになります。また、海洋観測研究部や観測フロンティアの気候変動領域では「みらい」による西太平洋の観測を行っていますので、彼等との協力によって海洋と陸域との共同観測が可能となるでしょう。私達の研究プログラムは20年という長期のものですが、まもなく最初の5年が終わります。これからの5年には、インドネシア東西に渡る観測網を作り上げると共に、海洋観測を中心とした研究コミュニティとの協力体制を育てていくなかで、海と島と大気が織りなす自然の不思議を追いかけて行きたいですね。