



エル・ニーニョの地球環境学 安成哲三

数年に一度の「エル・ニーニョ」という「異常気象」。しかし、この現象は本当に異常なのだろうか？地球温暖化との関係は？地球規模のこの現象を、新たな視点でときあかす。

エル・ニーニョとは

南米のペルーからチリーの海岸には、砂漠が広がっている。海岸砂漠といわれ、年間降水量はふだんはほとんどゼロである。赤道直下にもかかわらず、南極海から北上したペルー寒流と湧昇流のため、水温は二〇℃前後と低く、大気は安定して雨を降らせないためである。ちなみに、同じ太平洋の赤道沿いでも反対側のインドネシア地域には、三〇℃前後の高い水温と年中湿潤な熱帯雨林気候が広がっている。しかし、数年に一回程度、この冷たいペルー沖の海の水温が異常に高くな

り、その状態が半年から一年つづくことがある。これがエル・ニーニョである。エル・ニーニョ (El Niño) とはスペイン語で男の子のことだが、大文字で書かれたエル・ニーニョは、この地域では「神の子キリスト」を意味する。この異常高温現象が、決まってクリスマスころに生じるため、この現象そのものがエル・ニーニョとよばれるようになった。エル・ニーニョは、したがって、もともとはペルー海岸付近のみの現象として認知されていたが、広域の海水温データの整備により、現在では、赤道東部太平洋全体で水温が高くなる大規模な現象であることがわかっている。

今世紀最大のエル・ニーニョ

一九九七年から九八年にかけて、今世紀最大のエル・ニーニョが発生した。ペルーの主要な漁業資源は、冷たい海流に棲むアンチヨビ（カタクチイワシ）であるが、エル・ニーニョの発生により漁獲高は激減し、この年、ペルー経済の損失額は七億ドル以上にのぼったと、フジモリ大統領は報告している。このエル・ニーニョが発生すると、高水温で大気が不安定となり、ペルー海岸付近には時ならぬ豪雨がもたらされ、首都リマは洪水に襲われた。一方で砂漠には雨が降ったた

Teisuzo Yasunari 一九四七年生まれ。筑波大学地球科学系教授。一九九七年より地球フロンティア研究システム水循環予測研究領域長を併任。専門は気象学・気候学、気候システム論。ヒマラヤの気候と氷河の研究、アジアモンスーンの気象学・気候学的研究、ENSOとアジアモンスーンの相互作用の研究などに従事。最近は、地球環境変動における水循環や生物圏の役割、気候と生物圏・生態系の相互作用についても研究を進めている。同時に、アジアモンスーンに関する国際共同研究計画GAM Eのリーダーとして、シベリア、モンゴル、中国（チベット高原、淮河流域）、東南アジアなどでの気候・水循環の現地観測研究を推進している。著書に「ヒマラヤの気候と氷河」（共著）東京堂出版、岩波講座「地球環境学」（共編著）など。

め、時ならぬ花が咲き乱れ、一時的に野菜の栽培も可能になった。一方インドネシアから赤道西太平洋地域では、海水温が低下し、ふだんの活発な雲と降水活動が抑えられ、スマトラ、ボルネオ島では、大干ばつとなった。これらの島では森林火災が広範囲に起こり、人びとの生活と生態系に大きな被害を与えたことは、まだ私たちの記憶に新しい。エル・ニーニョは、赤道太平洋の東西で海水温の偏りが逆転し、同時に東の乾燥、西の湿潤な気候も逆転する現象として、現在では理解されている。

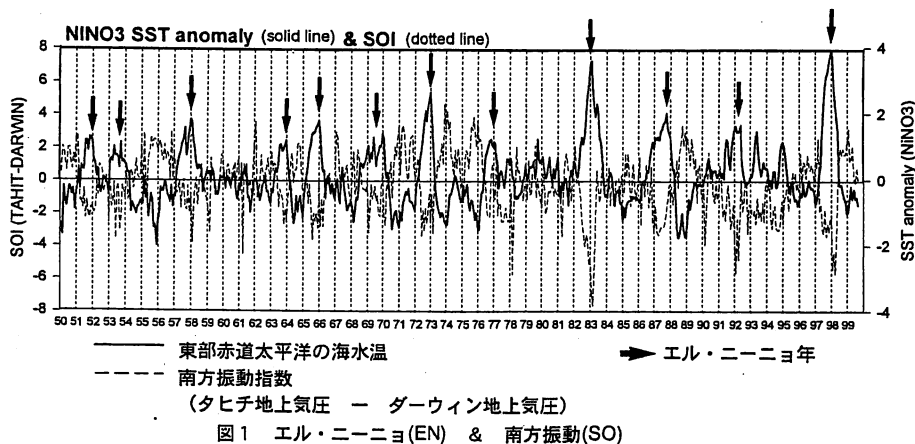
海のエル・ニーニョと 大気の南方振動——ENSO

右にのべたように、赤道太平洋でのエル・ニーニョは、同時に大気現象の変動をとともなっていることがわかる。しかし、これは海水温異常が大気に一方的に影響しているからではなく、大気と海洋の密接な相互作用に因っている。その大気側の現象が南方振動 (Southern Oscillation) とよばれる地球規模の大気振動である。南方振動とは、インドネシア付近と東太平洋のタヒチ島付近の地上気圧が、日付変更線付近を境にして、シソーのように東西で振動している現象であり、今世紀のはじめ、ギルバート

ウォーカーという気象学者によって発見された。じつはこの南方振動とエル・ニーニョが大気・海洋システムとして一体となっていることは、一九六〇年代になつてようやくあきらかとなっている。すなわち、ふだんは、西では高い海水温と低い気圧が、東では低い海水温と高い気圧が一对となっているが、エル・ニーニョ時はそれが反対になっているのである。図1の時系列でしめすように、東太平洋での海水温変動と南方振動の指数(東のタヒチと西のダーウィンの気圧の差で、エル・ニーニョ時にマイナスになる)は、ほぼ数年周期で、ほとんど連動して変動していることがわかる。エル・ニーニョ現象とは、太平洋スケールで起こっている大気・海洋結合システムの変動の一断面であり、最近ではむしろエル・ニーニョ／南方振動、略してENSO (El Niño / Southern Oscillation) とよばれている。

ENSOのメカニズム

では、ENSOの振動のメカニズムはどのようなものであろうか。まずこのENSOシステムは、赤道太平洋沿いの東西の海水温の差が気圧差を強め、気圧差がまた海水温の差を強めるといふ正のフィードバックシステムとなっていること



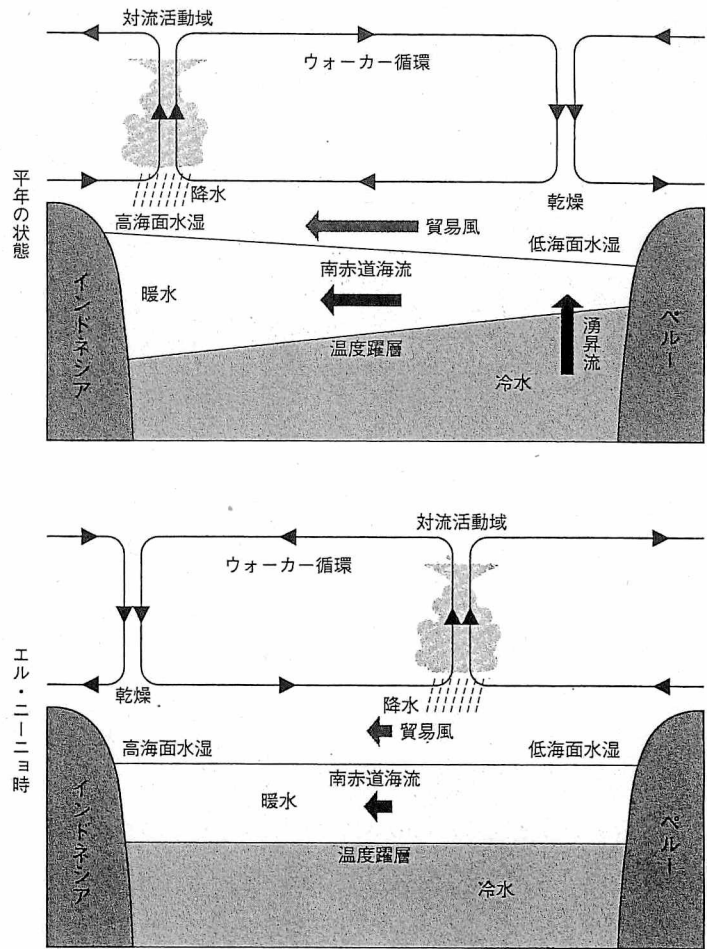


図2 大気・海洋システム

である。図2に通常時（人によつてはラ・ニーニャといつている）とエル・ニーニョ時の大気・海洋システムの状態をしめしている。通常時は、海水温の高い西太平洋上で雲・対流活動が活発で上昇気流が卓越し、冷たい東太平洋上では高気圧が発達して下降気流が卓越し、赤道太平洋上に沿つて、大気が西で上昇、東で下降する東西循環が維持されている（ウォーカー循環ともよばれる）。この大気循環は、海洋上では東風となつており、この東風がペルー沖から東太平洋では湧

昇流を引き起こし、一方西太平洋へと暖かい海水を吹き寄せる役割を果たしている。湧昇流とは、海洋表層を吹く風と地球の自転の効果によつて、より深い層の冷たい海水が表層に汲みあげられる現象である。すなわち、大気の東西循環は海水温の東西のコントラストをさらに強め、そのコントラストにより、大気の東西循環が、さらに維持・強化されるという動的な平衡状態が通常時には保たれている。この動的な平衡状態は、しかし、これを維持しているプロセスのどこかが弱まる

と、東西の大気・海洋のコントラストは一挙に崩れ、エル・ニーニョの状態（図2下）にかかわることになる。エル・ニーニョ時には、赤道上の東風が西風となり、西側の暖かい海水を東に運んで海水温の差は小さくなり、雲・対流活動も東に移動する。いわば、すべてがラ・ニーニャ時から反転している。

しかし問題は、何がラ・ニーニャ→エル・ニーニョ、あるいはエル・ニーニョ→ラ・ニーニャの反転を引き起こすのか、である。これこそエル・ニーニョの機構と予測につながる問題の鍵であるが、まだ完全な答えは得られていない。ただ図1にみられるように、不規則ながらもほぼ数年周期で生じていることは、ENSOシステムそのものに、振動を引き起こす仕組みが内在していることを示唆する。ひとつの説は、図2にしめす通常時（ラ・ニーニャ）に維持されている東西のコントラストには限界値があり、東風で形成され維持された西の暖水プールは発達しすぎると、ちよつとしたきっかけで東に流れだし、エル・ニーニョの状態へ移行するというものである。別の考えは、水温差で生じた海洋中の大規模な波動が、赤道沿いに東進して南米で反射し、今度は赤道を少し離れた緯度を別のかたちの波となつてゆっくりと西進し、フィリピン諸島で再び反射して、つぎのエ

ル・ニーニョ（ラ・ニーニャ）を引き起こすというものである。これらの考えを組みこんだコンピュータ数値モデルは、数年周期でのエル・ニーニョらしき現象の再現に、ある程度成功している。

何が普通で何が異常か

ところで、何が普通で何が異常かは、よく考えるとむずかしい問題である。現在の気候学の常識では、図2（上）のように、西で海水温が高く対流活動が強い、東西に大きなコントラストのある状態が「普通（ラ・ニーニャ）」の状態であり、エル・ニーニョの状態（図2下）は、数年に一度起こるかどうかの「異常な」状態とされている。しかし、よく考えてみれば、エル・ニーニョの状態も、ひとつの平衡状態であり、これが「普通の」状態であつてもいつころにおかしくはないはずである。むしろ、ラ・ニーニャ的な状況は、東西に大きな水温差、気圧差、雲活動の差をもった、一見不自然な非平衡な状態であり、これが普通の状態であるのはなぜか、という疑問も湧く。エル・ニーニョとラ・ニーニャがふたつとりうる状態であるとする、現在の地球は、たまたまラ・ニーニャをより安定な状態として選択していることになる。

なにがそうさせているのか。いいかえれば、赤道太平洋上で東風を卓越させ、対流活動域も西側に偏在させている背景は何か、ということになる。その答えの少なくとも一部は、ユーラシア大陸東部のアジアモンスーンの存在である。

アジアモンスーン的作用

アジアモンスーンは、ユーラシア大陸とまわりの海洋のあいだの季節的な加熱の差によって生じる大規模な大気循環である。夏は熱い大陸と冷たいインド洋の温度差により、南インド洋上から赤道を越える湿った南西風となり、南アジア・東南アジアに雨季をもたらす。湿った南西風はさらに東アジアまで達し、中国・日本の梅雨前線の活動を支えている。冬はシベリアで強く冷却された空気が北西風となって日本付近へ吹きだし、さらに北東風となって南下し、東南アジア・オーストラリア北部に雨季をもたらしている。雨季にともなう活発な降水と対流活動は、水蒸気の凝結により潜熱を解放して大気をさらに加熱することにより、モンスーン風系は強化され、数か月におよぶ雨季の維持を可能にしている。

モンスーンは、このように、ユーラシア大陸東部を中心とした南北方向の季節

的大気循環系として一義的には理解されるが、低緯度地域に着目すると、図2（上）にみられるように、夏・冬を通して対流活動が活発な東南アジア地域が、熱帯太平洋の西側に常に存在することになつている。赤道沿いに形成された東西循環により、暖かい海水プールがフィリピン沖の西部太平洋に形成され、この地域の対流活動をさらに維持・強化していることになる。

このようなしくみを前提にすると、アジアモンスーンの変動は、熱帯太平洋での大気・海洋相互作用系の状態に大きく影響していると考えられる。図3は、夏の

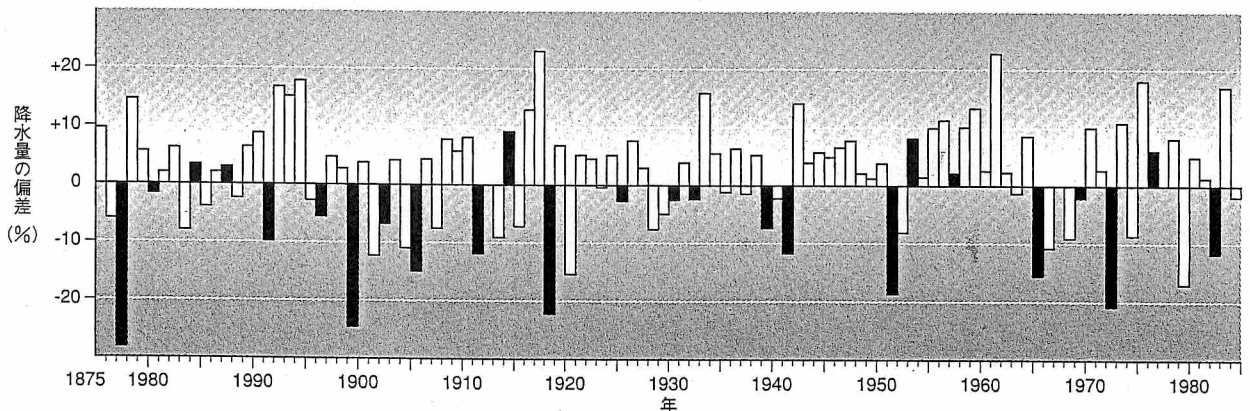


図3 インドモンスーン降雨量の経年変動
 平年からの偏差で示す。黒で示したのがエル・ニーニョ年。

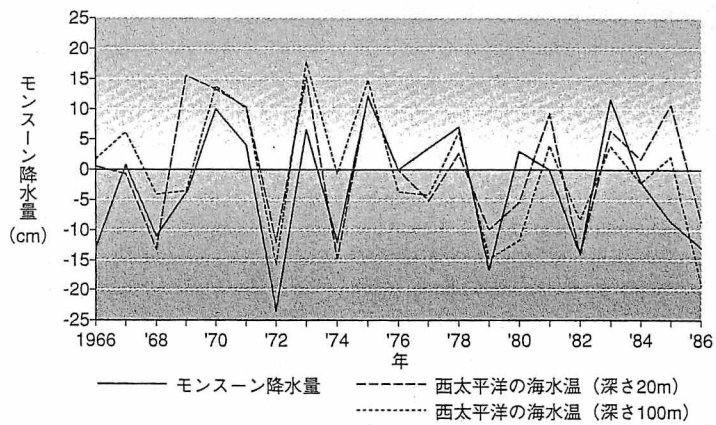


図4 インドモンスーン降雨量と翌年1月の西太平洋の海水温偏差
海水温偏差は正規化してある。

アジアモンスーンの強さを示すインドモンスーンの降水量変動とエル・ニーニョの発現の関係を示している。注目すべきことは、エル・ニーニョは、モンスーンの弱い年に集中しての発現していることである。さらに興味深いことは、図4に示すように、暖水域である西部熱帯太平洋の(北半球)冬の海水温変動が、先行する夏のインドモンスーンの強さと、高い正の相関をもって変動していることである。この観測事実、強い(弱い)モ

ンスーンの状態が、大気循環の季節的な変動を通して、その後の秋・冬におけるラニーニャ(エル・ニーニョ)の形成・維持に積極的な役割を果たしていることを示唆している。

「地球温暖化」との関係

近年、とくに一九七〇年代後半以降、地球の平均気温は上昇の一途をたどっている。一九九八年の年平均気温は、全球的に気象観測網が整備されて以降、すなわちほぼ今世紀に入って以降で、過去最高の値となった。ただし、地球の平均気温といっても、地上での、しかも陸上を中心とする観測点のデータと、海洋上は海面水温データで代表して平均した値であり、その推定値にはまだ多くの不確定さが残っていることにも注意すべきである。このような「地球温暖化」とエル・ニーニョの発現には、どのような関係があるだろうか。

じつはこの「温暖化」に、エル・ニーニョ現象の近年の「異常」が一役買っている。図1をもう一度みると、一九八二/八三年に起こった大きなエル・ニーニョ以降、赤道東部太平洋の水温海面が高いまま推移し、現在に至っていることに気づかれるであろう。平年より水温が

下がるラ・ニーニャは、ほんの短期間しかなく、たとえば九〇年代前半はずっと弱いエル・ニーニョ状態がつづいていたともいえる。そして、九七/九八年、今世紀最大で、(多分最後の)エル・ニーニョが起こったのである。地球上で大きな面積を有するこの地域での高い海面水温偏差の持続は、図1の全球平均の気温偏差にもじつは大きな貢献をしているのである(ただし、陸上での気温だけでも、シベリアやアラスカでの気温上昇によって、やはり図3と同様の変動傾向が確かめられている)。とすると、エル・ニーニョが「温暖化」を引き起こしているのか、あるいは、温室効果ガスなどの増加に起因する「地球温暖化」が近年のエル・ニーニョの「異常」を引き起こしているのか。今のところ、この答えはわかっていない。もちろん、「温暖化」がこれら二つの要因で起こっている保証すら、確実ではない。地球の気候システムは、太陽活動とか人間活動とか、いわばシステムの外部からの影響がなくても、システムに内在するさまざまなしくみにより、短周期、長周期をふくめ、自然に変動している部分も大きいと考えられている。近年の「温暖化」傾向も、エル・ニーニョ「異常」も、このような自然変動の一部である可能性も否定されたわけではない。気候予測への道はまだまだ遠い。

生物圏と生態系への影響

数年周期で起こるエル・ニーニョは、決して異常な現象ではなく、現在の地球の気候のもつ固有の振動現象として理解すべきであろう。したがって、氷期などには、現在とはかなり異なるエル・ニーニョの状態（頻度や大きさ）があったと考えるべきだし、じつさい、そのような報告が、アンデス高地の湖底堆積物の解析からなされている。千年から万年のゆっくりとした時間スケール^{*1}で変化している生物圏・生態系は、現在の気候のもつこのような短い周期の振動特性にはむしろ、それなりに適応して存在していると考えられるはずである。東南アジアの熱帯林の一斉開花が、エル・ニーニョ発現にともなってこの地域に時として訪れる乾季と放射冷却による低温がトリガー（きっかけ）となつて起こるといふ説^{*2}などは、もし正しいとすれば、現在のENSO周期への熱帯林の適応形態をしめすものとも考えられる。しかし、それも千年に一度（以下）という確率でしか出現しないような、度を超して大きなエル・ニーニョとなると、生物へのその影響も異なったものとなる。一九八二／八三年と一九九七／九八年のENSOはまさ

にそのようなスーパーENSOであった。これらの年には、ふだんは乾季らしい乾季もなく湿潤多雨な気候が年中つづくポルネオ・スマトラなどでも、数か月以上にわたり、ほとんど雨の降らない季節が到来した。乾燥がきっかけとなつて起こった森林火災は生態系への被害をさらに助長した。サラワクのランビル国立公園の熱帯雨林での観察では、約半年つづいたこのときの干ばつのため、あるイチジクの花の花粉媒介者である昆虫のいくつかの種が絶滅したことが報告されている^{*3}。

地球環境学への新たな視点

エル・ニーニョは現在の地球気候のリズムであり、リズムとして生物圏に果たしている役割がある。同時に、この最近二〇年間に二度起こつたようなスーパーエル・ニーニョは、変化しつつある地球のシグナルである可能性が高い。一部の生物種の絶滅という報告は、少なくとも過去千年から一万年のオーダーで考えた地球環境が大きく変わりつつあることを示唆しているのかもしれない。これらの環境変化が人間活動によるものか、長周期の自然変動によるものか、あるいはその複合によるものか、「地球温暖化」問題にからめ、現在多くの議論がなされて

いる。

現在私たちが営々と行っている科学の研究には、暗黙の了解事項あるいはパラダイムが存在している。普遍性と一般性の追求である。これは自然科学のみならず、文化人類学、社会学などの人文社会諸科学でもあてはまるようである。しかし、広い意味で地球とそれに依拠する（人間を含む）生物を対象にした科学では、この「普遍性」や「一般性」はつねにカッコつきであることに留意する必要がある。その理由のひとつは、地球・生命系にたいする私たち人類の認識の蓄積は、その対象の長い歴史・進化過程にたいし、ただか数百年のオーダーでしか、なされていないということである。もうひとつは、対象が完全に客体としての存在ではなく、自らもその構成部分であるという事実である。つねに変化しつつある地球環境にかかわる現象・事象にたいし、より普遍的な理解を進めるためには、閉じた系としての地球と生物（人間）との共存が、どのような相互作用（かかわりあい）の過程で最適化されてきたか、あるいはされうるか、という視点が必要ではなからうか。エル・ニーニョという地球規模の現象も、そのような視点から理解しておく必要がある。

* 1 Rodbell et al. 1999.

* 2 Ashton 1988.

* 3 Harrison 1999.

参考文献

- Ashton, P. S., T. J. Givnish and S. Appanah. 1988. Staggered Flowering the Dipterocarpaceae: New Insights into Floral Induction and the Evolution of Mast Fruiting. *American Naturalist*, 132, 44-66.
- Rodbell, D. T., O. S. Geoffrey, D. M. Anderson, M. B. Abbott, D. B. Enfield and J. H. Newman. 1999. An 15,000 Year Record of El Niño-Driven Alluviation in Southwestern Ecuador. *Science* 283, 516-520.
- Harrison, R. D., 1999. Repercussions of El Niño. Drought causes extinction and the breakdown of mutualism. Borneo. *Science* (submitted).