

特集 林冠クレーンが導く熱帯雨林研究の未来

東南アジアの熱帯雨林にはシベリアからの寒気が必要？

一斉開花に潜む熱帯雨林の起源と進化の謎

安成 哲三

やすなり てつぞう

東南アジアの熱帯雨林において、一斉開花は種の存続に不可欠のプロセスである。その引き金として、エルニーニョなどに伴う乾燥や低温がいわれてきたが、著者らの研究により、シベリアからの冬季モンスーンによる強い寒気の流入による異常低温が特に重要であることがわかってきた。このことは、近年のシベリアを中心とする温暖化が、東南アジアの熱帯雨林の維持にとっても大きな問題であることを提起している。さらに、この地域の熱帯雨林の進化は、チベット・ヒマラヤ山塊の上昇に伴ったアジアモンスーンと熱帯太平洋の大気・海洋システムの成立と密接に関わってきたことを強く示唆している。

筑波大学地球科学系(気象学・気候学)

東南アジアにおける熱帯雨林の一斉開花と低温仮説

1996年4~6月にかけて、ボルネオ島のマレーシア領サラワクのランビル国立公園を中心とする熱帯雨林では、大規模な一斉開花現象が起こった。一斉開花は、明瞭な季節(雨季・乾季)のない東南アジアの熱帯雨林においては、種の存続には不可欠のプロセスと考えられている⁽¹⁾。そして、この年の一斉開花は、約2カ月前の1~2月における異常低温による低温ストレスが引き金になっていることが強く示唆されている。ほぼ同じ時期に、マレーシアの半島部でも大規模な一斉開花が起こっており、やはり同時期(1~2月)の低温が引き金になっていることが、安田らによって指摘されている⁽²⁾⁽³⁾。一斉開花の引き金としてのこの「低温仮説」は、アシュトンら⁽⁴⁾によって初めて提唱された。かれらは過去の一斉開花を調べた結果、20°Cを下回るような異常低温がほとんどの場合に先行して現れていることをまず指摘した。さらに過去の一斉開花については、一斉開花(とその結実)を示す指標として、サラワクでの年ごとのイリッペ・ナッツという熱帯雨林の果実の年間輸出量の変動を調べ、輸出量の極端に多い年がエルニーニョ(赤道東太平洋の海水温が異常に高くなり、西太平洋域が低くなる現象。この時、西太平洋、インドネシア地域では旱魃となる)年と

ほぼ対応していることを見出した。これらの証拠から、この地域がエルニーニョにより乾燥化した時に、雲と水蒸気の少ない大気での効率的な放射冷却により、これらの異常低温がもたらされると推定している。しかし、安田らは1976年以降の一斉開花のケースについて、その季節的なタイミングをより詳しく調べた結果、異常低温は、エルニーニョ時ではなく、むしろラニーニャ(西太平洋の海水温がより高温で、対流活動のより活発な状態)の時期に対応していることをつきとめた。即ち、ラニーニャ時期の活発な降水の合間の無降水で比較的低温な時期に、放射冷却がより効率的に起こり、一斉開花の引き金になっているとしている。

冬のモンスーン赤道への侵入と一斉開花

私たちは、この1996年のサラワクにおける一斉開花を引き起こした異常低温について、現地のランビル国立公園の詳しい気象観測データと、米国海洋大気庁(NOAA)の全球客観解析気象データ、静止気象衛星による雲画像データを詳しく解析した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。その結果、20°C以下の低温を示した1月、2月のいずれの日も、図1に示すように、前日にかなり強い雨が降り、そのまま曇天が続いた朝に出現していることがわかった。さらに、こ

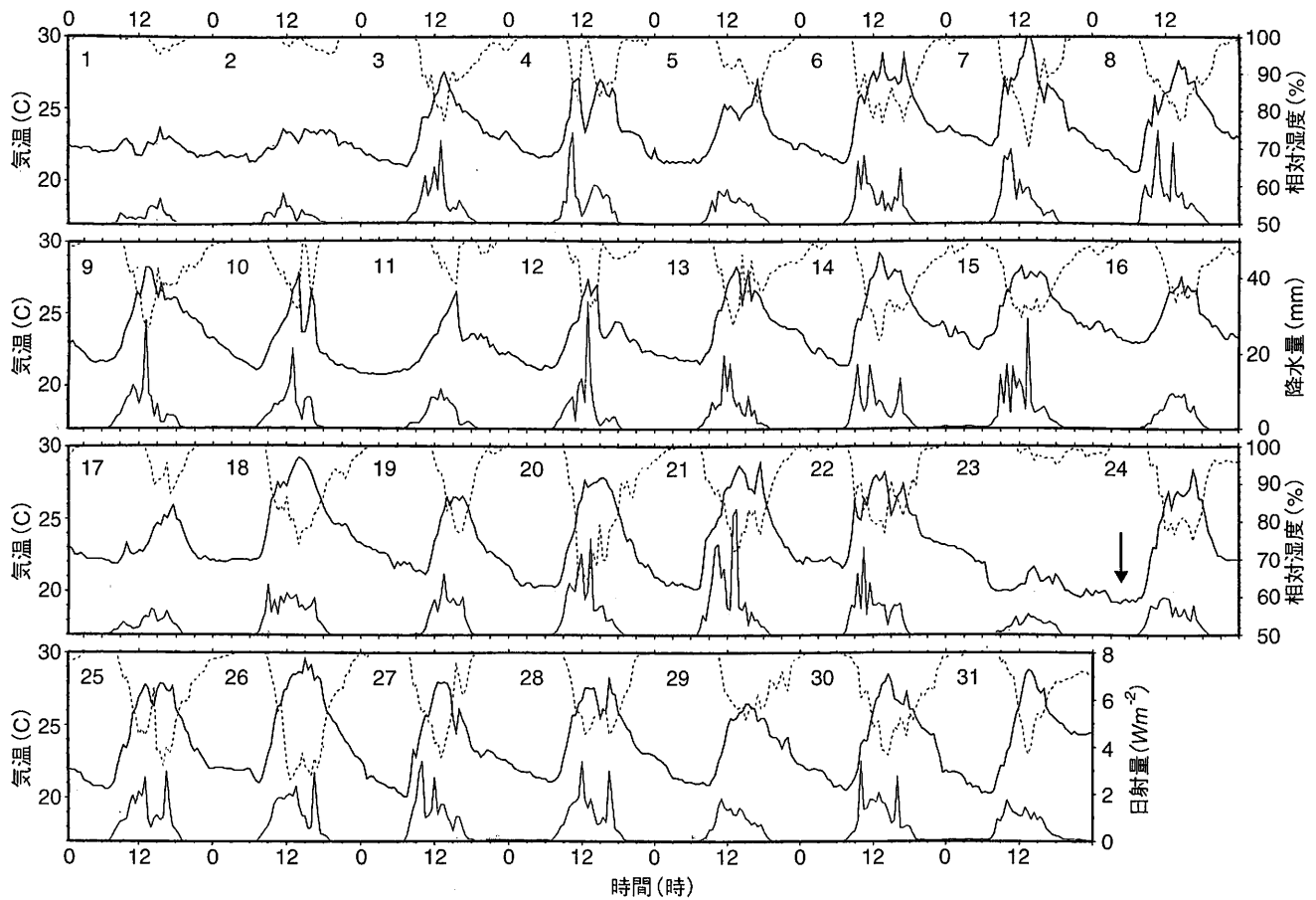


図1——1996年1月のランビル国立公園熱帯雨林の林冠における気象要素の日変化と日々変化。太実線が気温、細実線が日射量、点線が相対湿度、棒グラフは30分ごとの降水量を示す。23～24日にかけて、20°C以下の低温が出現している。24日の最低温時を↓で示す。

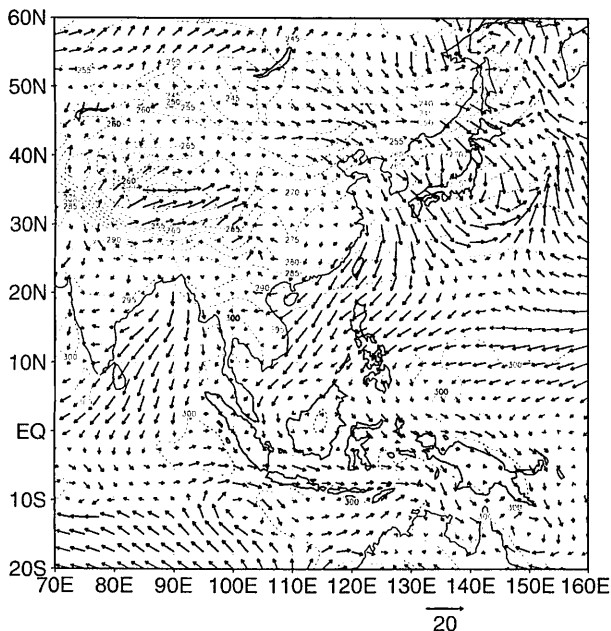


図2——1996年1月23日における地上風系。北東モンスーンによる寒気の南シナ海への侵入と、ボルネオ付近での低気圧性循環の強化が示されている。ハッチは、北風成分が5 m/s以上の領域を示す。

の強い降水が図2に示すようなシベリアからの強い北東モンスーンの吹き出しとそれに伴って発達した熱帯擾乱^{じょうらん}によるものであることが明らかとなった。即ち、明け方近くの放射冷却も効いている可能性もあるが、基本的には北東モンスーンによる寒気移流(流入)と強い対流活動に伴う日射の抑制が、異常低温の主な原因であることが明らかになった。また、この1,2月は、月平均でも、平年と較べかなり低温な月であり、シベリアからの寒気の南下が平均的にも強い状況のなかで起こりうる現象であることが示唆された。

さらに、過去に一斉開花があり、その前に引き金としての異常低温があったケースを、ランビル近くの町ミリの気温データで調べ出し、それぞれの低温時期のサラワク付近の大気循環を同様に調べた結果、やはり南シナ海付近での北東風の強化とサラワク付近での活発な対流活動が確認された。また、アシュトンの論文に記載されている1975年以降のマレー半島における過去の異常低温についても調べた結果、北半球冬のケースは、同様に

寒気の北からの移流が示された。この論文では北半球夏にも、異常低温が生じているケース(1981年, 1985年)が示されているが、これらのケースでは、興味深いことに、冬である南半球側からの寒気移流がその原因であることがわかった。

ここで、もう一度、異常低温現象が起こるこれまでの議論をまとめてみる。アシュトンらは、エル・ニーニョに対応して低温が起こるとし、安田らは、ラ・ニーニャ年の冬における低温こそ重要であるとした。アシュトンらは、イリッペ・ナッツの年間輸出量を用いたため、どの季節(月)に低温と一斉開花、そして結実が起こったかは不明であるため、単にエル・ニーニョ年と対応することで議論をした。現実には、安田らが指摘するように、むしろ、ラ・ニーニャ時の冬に低温は集中している。この一見矛盾しているような結果は、実は、エル・ニーニョ年の前年は、ラ・ニーニャの傾向が強く、同時に冬の北東モンスーンが強い。この強い北東モンスーンは、赤道をこえると強い西風になり、エル・ニーニョの引き金にもなるという私たちの研究⁽⁷⁾⁽⁸⁾を前提にすれば、すんなりと解決する。エル・ニーニョが発現する前のラ・ニーニャの冬に、北東モンスーンの強化と対応して異常低温が起こっているのである。

東南アジアにおける熱帯雨林の進化とモンスーン気候の変化

マレーシア、ボルネオを中心とする東南アジアの熱帯雨林には、もちろん、1年を通した高温と多降水量という気候条件がある。その気候条件は、南シナ海から西部熱帯太平洋にひろがる暖水プールの存在が作り出している。しかし、種の保存のための一斉開花には、異常低温でひきおこされる「低温ストレス」という生理学的機構が必要とされている。このためには、1年を通した高温多湿な気候を、ある程度の頻度でブレイクするという機構も必要である。そして、このための低温には、どうも冬のモンスーン強化による赤道付近までの寒気の流入が大きな役割を果しているようである。いっぽうで、エル・ニーニョに伴う旱魃による強い「乾燥ストレス」も、一斉開花をもたらす可能

性もありうる。1997年、98年のエル・ニーニョ時には、実際、この「乾燥ストレス」による開花の可能性も報告されている⁽⁹⁾。いずれにせよ、フタバガキに代表される巨大な熱帯雨林は、その基本的な気候条件である高温多湿に、時として低温、あるいは乾燥を入れることにより、はじめて成立しているといえる。このことは、東南アジアの熱帯雨林の進化と歴史を考える時に非常に重要である。チベット高原の上昇は、夏の南西モンスーンだけではなく、冬のシベリア高気圧を強化し、東アジア、東南アジアの冬の北西・北東モンスーンを出現させた⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。同時に、熱帯太平洋上では、東南アジアへ向かう東風を強化し、東西の水温差を強化し、西側には暖水プールを形成していったと考えられる。エル・ニーニョ現象も、当然、暖水プールの形成(と、東西の海水温コントラスト)と期を一にして、始まったはずである。とすると、その歴史はインドプレートとユーラシアプレートが衝突して、チベット・ヒマラヤ山塊が隆起し始めた白亜紀以降、約1億年である。即ち、東南アジアの熱帯雨林は図3に示すようなアジアモンスーンと熱帯太平洋のENSO(エル・ニーニョ/南方振動・熱帯太平洋の大気・海洋相互作用・振動系)が結合した気候システムが成立する気候史とともに、進化、成立していったと考えられる。この地域の熱帯雨林の生物多様性は、少なくとも、これだけの時間をかけて作り出されていったものであろう。

フタバガキ科は、季節変化の明瞭なモンスーンやサバンナ地域にも、現在一部存在しているが、この気候変化に適応しつつ海洋大陸地域に進出していったのが、現在の熱帯雨林なのであろう。したがって、冬のモンスーンによる寒気も、エル・ニーニョによる乾燥も、季節変化のシグナルとして進化の中でしっかりと組み込まれた遺伝子プログラムを、季節の不明瞭な赤道直下においても機能させるための重要なプロセスなのではないか。もしそうならば、近年のシベリアでの温暖化と冬のモンスーンの弱まりは、サラワクの熱帯雨林にも大きな影響を与える可能性がある。温暖化、砂漠化、熱帯雨林破壊など、地球環境問題としてまとめられている問題群は、気候システムの複雑性

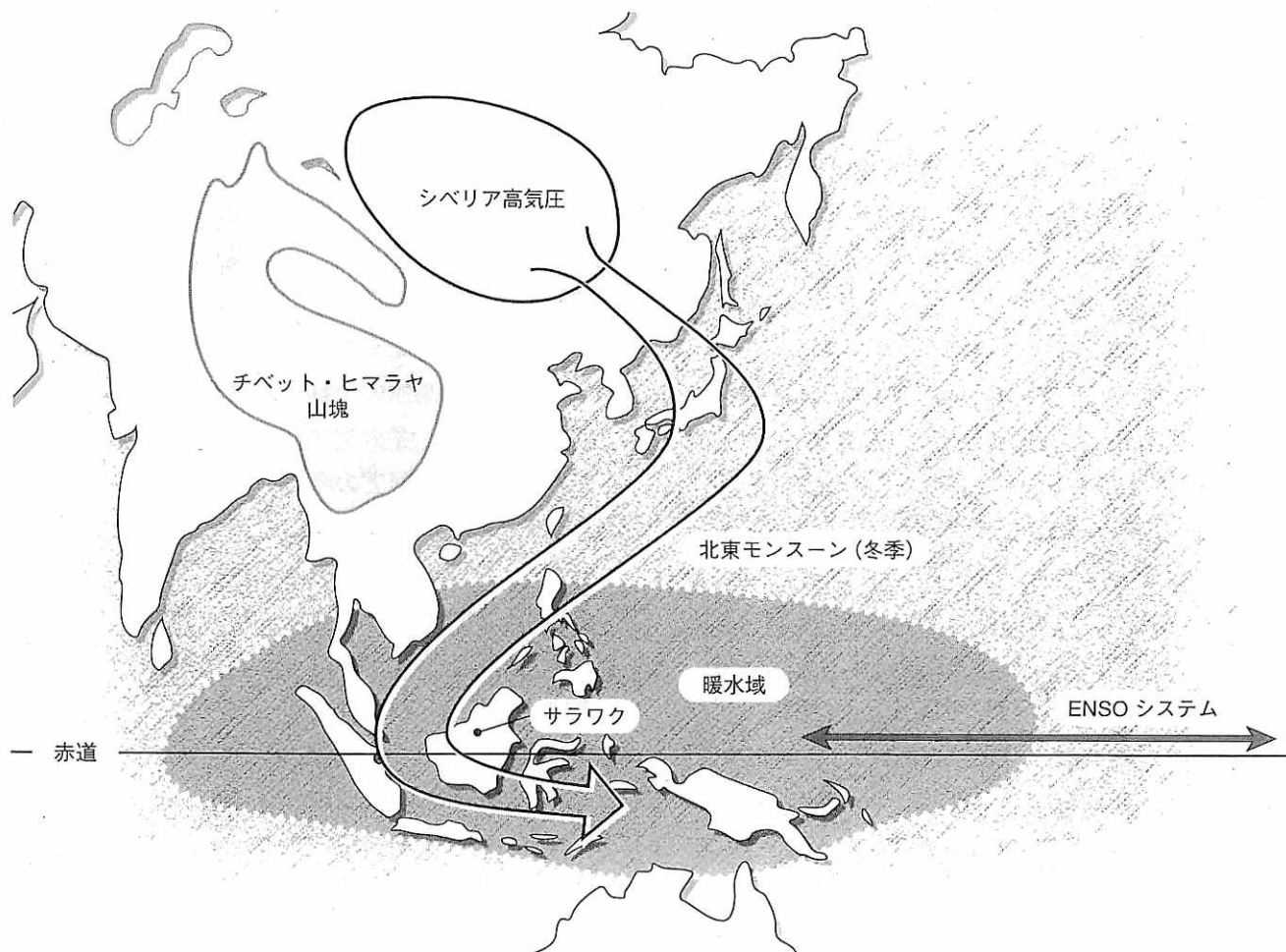


図3——チベット高原・ヒマラヤ山塊の上昇に伴うアジアモンスーンと西太平洋・インド洋暖水域の形成と、ENSOの成立を示す模式図。東南アジアの熱帯雨林地域も同時に広がっていったと考えられる。

と非線形性を通して、お互いにさまざまにからみあっていることも、忘れてはならない。

新たな研究の展開に向けて

一斉開花の謎の解明は、実はこれからである。クレーンサイトにおける林冠内外での長期観測は、熱帯雨林が、気候・気象条件の日変化、季節変化や経年変動に、どのように応答して生きているか、あるいは、みずからどのような微気象条件を作り出しているかも、明らかにしてくれるはずである。そして、林冠から林内、地表面を含む3次元観測から、一斉開花がどのような機構で起こるのか、熱帯雨林維持における生理・生態学的意味は何かを、文字どおりトータルに説明できる新しいデータをできるだけ早い機会に出してくれることを期待したい。

文献

- (1) 井上民二: 生命の宝庫・熱帯雨林, NHK ライブラリー(1998)213 pp.
- (2) M. Yasuda et al.: J. Trop. Ecol., 15, 437(1999).
- (3) 安田雅俊: 科学, 71, 20(2001)
- (4) P. Ashton et al.: American Naturalist, 132, 44 (1988)
- (5) 吉田幸美: 筑波大学環境科学研究科修士論文(1998)58 pp.
- (6) T. Yasunari et al.: Proc. 1st Inter. Workshop on Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rainforest, Miri, Sarawak, Mar.(2001)
- (7) T. Yasunari & Y. Seki: J. Meteor. Soc. Japan, 70, 177(1992)
- (8) T. Tomita & T. Yasunari: J. Meteor. Soc. Japan, 74, 399(1996)
- (9) R. D. Harrison: Proc. 1st Inter. Workshop on Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rainforest, Miri, Sarawak, Mar. 2001.(2001)
- (10) S. Manabe & T. B. Terpstra: J. Atmos. Sci., 31, 3(1974)
- (11) A. J. Broccoli & S. Manabe: J. Climate, 5, 1181(1992)