



名古屋大学 21世紀COEプログラム 「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」

<http://www.coe.env.nagoya-u.ac.jp/>

August 2005

SELIS ニュースレター 第4号

大気海洋結合モデルを用いたヒマラヤ・チベット山塊の形成に伴う気候変化の研究

阿部 学 (COE 研究員(PD))、安成哲三 (地球水循環研究センター)

1. はじめに

現在、気象庁気象研究所との共同研究として、気象研究所で開発された大気海洋結合モデルを用いて、ヒマラヤ・チベット山塊の形成における気候変化、そして、現在の気候形成における大規模な山岳の役割についての研究を行っている。

アジアはユーラシア大陸の大部分からなり、その中には広大なチベット高原とヒマラヤ山脈が存在し、さらに太平洋、インド洋という大海に囲まれ、アジア域での陸面—大気—海洋が結びついた複雑なシステムが存在している。ヒマラヤ・チベット山塊は現在の状態で常に存在していたわけではなく、インド亜大陸とユーラシア大陸との衝突により、陸が隆起して現在の状態になった。現在の気候が形成されるまでに起こった気候変化は、ヒマラヤ・チベット山塊の形成が関連しており、第三紀後期から第四紀の初期における気候変化が特にヒマラヤ・チベット山塊の形成の影響を受けているとされている。しかし、この山塊の形成の歴史、つまり、いつの時代にヒマラヤ・チベット山塊がどれくらいのスケールで存在したかが、まだ明確ではない。気候モデルを用いた我々の研究は、地質学的な研究とともにその高さがどれくらいであったかを理論的に評価すること、そして、関連する過去の気候の空間的な把握をすることを目的としている。

モデルを用いる利点は、地形や二酸化炭素の量などを変更できることである。我々の研究では、ヒマラヤ・チベット山塊の高さを変化させることによって、気候がどのように変わるかを調べている。実験では、海洋大循環モデルを結合することによって、海洋も大気との相互作用によって変化する。これまでの全球の地形の高さを変化させた実験における、夏季のアジアモンスーン、及び、熱帯太平洋の変化については、Abe et al. (2003, 2004)で報告している。

2. 冬季東アジアモンスーンの変化

新しいバージョンの大気海洋結合モデルを用いて、現在のヒマラヤ・チベット山塊の高さの 0%、25%、50%、75%、100%とした 5 つの条件に対して計算をした。北半球冬季には、シベリア付近に中心をもつシベリア高気圧が形成され、そこから太平洋に向かって寒気が吹き出す。シベリア高気圧の現在の状態は、チベット高原の存在が重要な役割を担っている。図 1 に示すように、チベット高原が現在

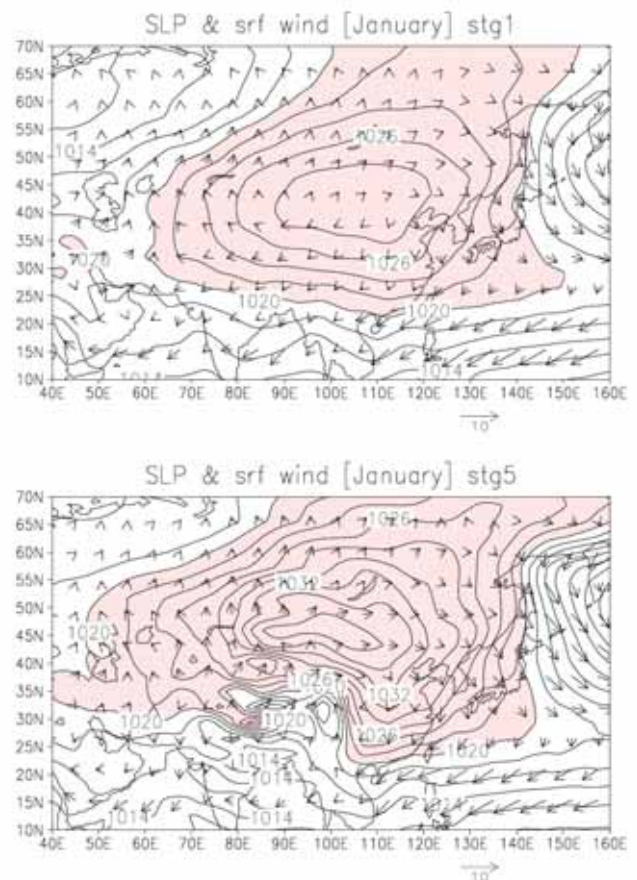


図1 1月の海面較正気圧と地表面風の分布。(上) ヒマラヤ・チベット山塊なし(0%)、(下) ヒマラヤ・チベット山塊あり(100%)。 単位：(SLP)hPa、(地表面風) m/sec

の 0%、25%、50%のとき、シベリア高気圧の中心は中国の北東部に位置する。そして、75%、100%くらいになるとバイカル湖の南西に中心を移すことになる。また、その中心気圧も山塊の高さとともに強くなる。このシベリア高気圧の中心と強さの変化により、日本や太平洋に吹き出す寒気も若干強くなり、冬季の日本の気候も変化させることになる。現在、日本はこの寒気の吹き出しにより、冬季は気温が低い、現在に比べると、ヒマラヤ・チベット山塊が低いときはやや暖かい。また、現在の寒気の吹き出しにともない、日本海や日本の南の海上では比較的大量の熱が海洋から大気へと供給されるが、この太平洋上での熱のやりとりも大きく変化してきたことになる。そして、この熱のやりとりの変化は、海洋にも影響を与える。

3. 陸域植生分布の変化の気候への影響

さて、陸域堆積層資料などから得られる動物、貝、花粉、珪藻類、有機化合物などの生物関連情報から過去の気候変動が解明されている。気候が変われば、生物もその影響を受ける、広い空間スケールでみれば、その分布が変わるであろう。図2はヒマラヤ・チベット山塊の高さを変えた実験から得られた気候要素を用いて計算したケッペンの気候区分図である。ヒマラヤ・チベット山塊の存在しない(0%)のときは、夏季アジアモンスーンによる東アジアの陸域での降水量は、現在(100%)に比べると小さいことから、中国が広く乾燥気候に覆われるが、山塊の形成にともなう降水量の増加により、東南アジア、東アジアが湿潤な気候区分に変化する。我々の扱っている気候モデルも、陸面において植生の影響は考慮している。しかし、モデルの計算時に植生分布は気候によって変化するわけではなく、分布は計算条件として与えている。その区分された植生ごとにエネルギーや水のやりとりの特性がモデル化されている。しかしながら、これまでの実験で与えた植生分布は、すべての実験において、現在の植生分布で固定した状態で行っている。つまり、実験においては、気候の変化にともなう植生分布の変化は考慮していないことになる。

現在温帯植物の豊かな地域が乾燥気候であれば、その地表面では植生の減少によるアルベドの増加、顕熱の増加により大気への影響が異なり、アジアモンスーン循環の形成、維持するメカニズムに影響を与えると考えられる。つまり、植生分布の変化は環境に適応するだけでなく、地表面でのエネルギーや水のやりとりの空間特性に変化を与えることから、大気循環への影響もあることが十分に考えられる。このことから、植生分布の変

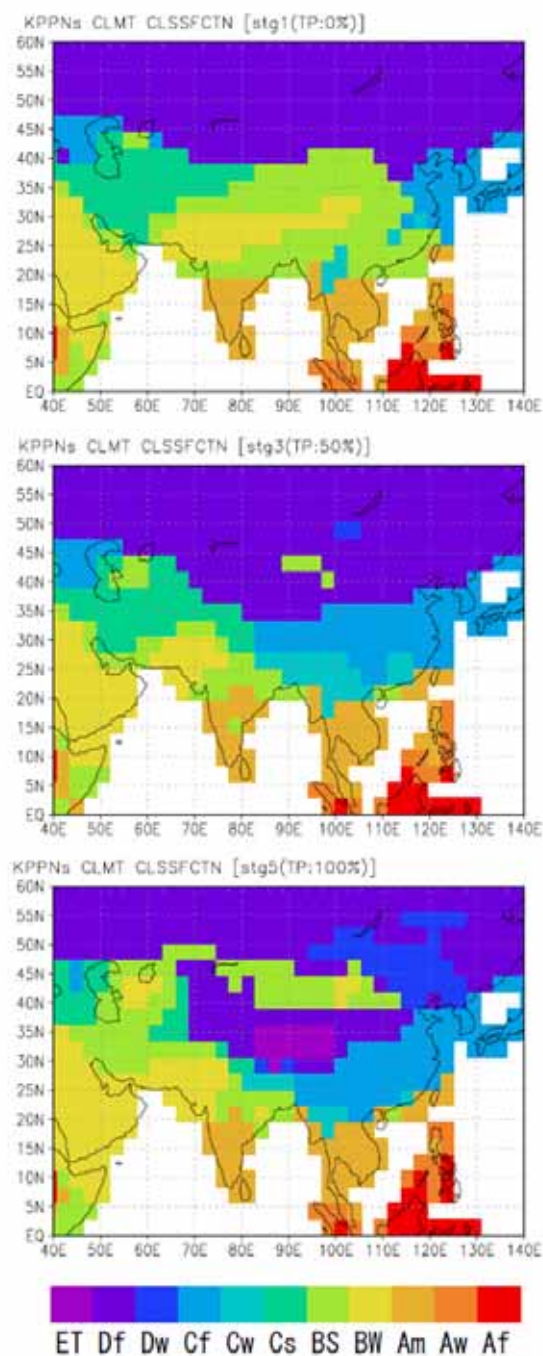


図2 ケッペンの気候区分図 (上) ヒマラヤ・チベット山塊が0%、(中) 50%、(下) 100%のとき。Af:熱帯雨林, Aw:サバナ気候, Am:熱帯モンスーン, BW:砂漠, BS: ステップ, Cs:温帯夏乾燥, Cw:温帯冬乾燥, Cf: 温帯湿潤, Dw:寒帯冬乾燥 Df: タイガ, ET:ツンドラ

化がどの程度気候変化に影響を与えるかを見積もり、評価することは、古気候の変化だけでなく、現在の気候形成における植生(分布)の役割を考える点で重要であると考えられる。

さらに、古環境変化における花粉など植物の情報は非常に重要な指標であり、モデルの結果と比較評価し、過去の生態系の変化と気候の変化の関係を空間的に解釈し、理解することが大切である。また、他の研究機関などでは動的植生モデルが現在開発

中であり、気候モデルにそのモデルを導入することで、植生は、モデルで計算された気候状態によって変化していく。このようなモデルを使うことで、より現実的な気候変化と生態系の変化の関連を解明することが可能となり、過去の植生変化のような長時間スケールでの気候変化を考える上で重要な情報をもたらしてくれるであろう。ただ、このようなモデルの導入がまだ簡単に行えないという点が残念である。

現在、我々は、これまで実験で得られた気候要素から、その気候において最適な植生分布（潜在植生分布）を見積もり、その植生分布を条件としてモデルに与えた場合と植生分布の変化を考慮しなかった場合の結果を比較することで、植生分布から気候にどれくらいの影響があるのかを評価しようとしている。これは、生物圏の変化がどの程度気候に影響を与えられるかを評価することであり、環境（気候）形成、または、気候変化に積極的な役割を解明したい。

4. ヒマラヤ・チベット山塊の形成は海洋深層水循環に影響を与えたか？

現在の月平均以上の時間スケールにおけるグローバルな大気循環の特徴は、海陸分布、及び、山岳の存在で決まっているといっているだろう。ヒマラヤ・チベット山塊の変化により、大気循環に大きな変化を与え、大気海洋相互作用系として、海洋も変化する。この海洋の変化は、太平洋のみに見られるだけでなく、大西洋にもみられる。ヒマラヤ・チベット山塊の存在する場合（100%）と存在しない場合（0%）の年平均した海面水温の差を図3に示す。ヒマラヤ・チベット山塊の形成にともない、太平洋上の亜熱帯高気圧が強化される。この亜熱帯高気圧の強化に関連して、海洋上での降水活動、雲、表層の風の場に変化が起こり、それに関連した変化が見られる。日本の南海上では、亜熱帯高気圧の強化に伴う黒潮の強化により、ヒマラヤ・チベット山塊が存在しないとき（0%）よりも、存在する（100%）のとき、海面水温が高くなっている。さらに、貿易風の強化は、海水の北向きの輸送を強化することで南の暖かい海水を北へ運び、水温を上昇させる。

北大西洋の海面水温については、ヒマラヤ・チベット山塊が存在する（100%）ときは、存在しない（0%）ときよりも低い。大西洋上に存在する高気圧も、ヒマラヤ・チベット山塊の存在により、その強度を存在しないときより強める。現在、ヨーロッパが同じ緯度帯に比べて暖かいのは低緯度の暖水が高緯度に輸送され、相対的に暖かい海が形成されているためである。しかし、これがヒマラヤ・チベット山塊の存在しないことで弱ま

り、海面水温が低下する。

この北大西洋は、約2000年の時間スケールをもつ海洋深層水循環の沈み込み地域として知られている。この深層水循環の変化は第四紀の氷期-間氷期サイクルに関連した変動を示し、第四紀における気候変動の要因の一つと考えられている。ヒマラヤ・チベット山塊の存在は、大気循環を通して、北太平洋などの近接した海洋のみでなく、北大西洋へも影響を与えている。ヒマラヤ・チベット山塊が存在しない（0%）場合、北大西洋は海水の温度が低いことから、深層水循環は現在よりも強かったかもしれない。もちろん、塩分濃度の変化も大きく関係しているので、水温のみでは議論できないし、さらに、海水分布やグリーンランド氷床の融解量なども、水温、塩分濃度に変化を与えるので、考えなければならない要因である。しかし、現在のような深層水循環を形成するには、ヒマラヤ・チベット山塊の現在のスケールが必要であることは十分に考えられる。そして、氷期-間氷期サイクルは、ヒマラヤ・チベット山塊が現在のスケールに近くなった時代より後、約200万年前から始まったとされている。深層水循環が氷期-間氷期サイクルの要因の一つと考える場合、ヒマラヤ・チベット山塊の存在は、深層水循環の強弱にどのような影響を与えたのか、氷期-間氷期サイクルの開始、時間スケールを考える上でも興味深い研究課題である。このために海洋モデル実験を計画し、準備している。

5. まとめ

ヒマラヤ・チベット山塊は、アジアの気候を特徴づけるアジアモンスーン循環の形成に重要な役割を担っている。そして、ヒマラヤ・チベット山塊の形成は、過去のアジアやグローバルな気候変化に重要な変化をもたらしたと考えられ、それはこれまでの気候モデルの結果からも実証されている。今後、大気-海洋結合気候モデルの利点を生かし、ヒマラヤ・チベット山塊の形成にともなう陸上と海上の気候変動の連動性を調べ、大西洋への影響が深層水循環にどのように効果を持っているのかを調べたい。また、陸域の植生分布の変化を考慮した実験を行い、陸域植生（生物圏）の気候形成・変動への影響を評価したい。これらの研究は、過去の気候変動を対象にするのみではなく、現在の気候形成における地球表層の大規模な山岳の役割を評価するものであり、現在の気候システムを考える上でも重要と考える。また、過去の気候変化はモデルの計算結果のみから解明できるものではなく、地質学的な研究成果による過去の気候変化の証拠とともに、より現実的かつ理論的な解釈と実証が必要である。

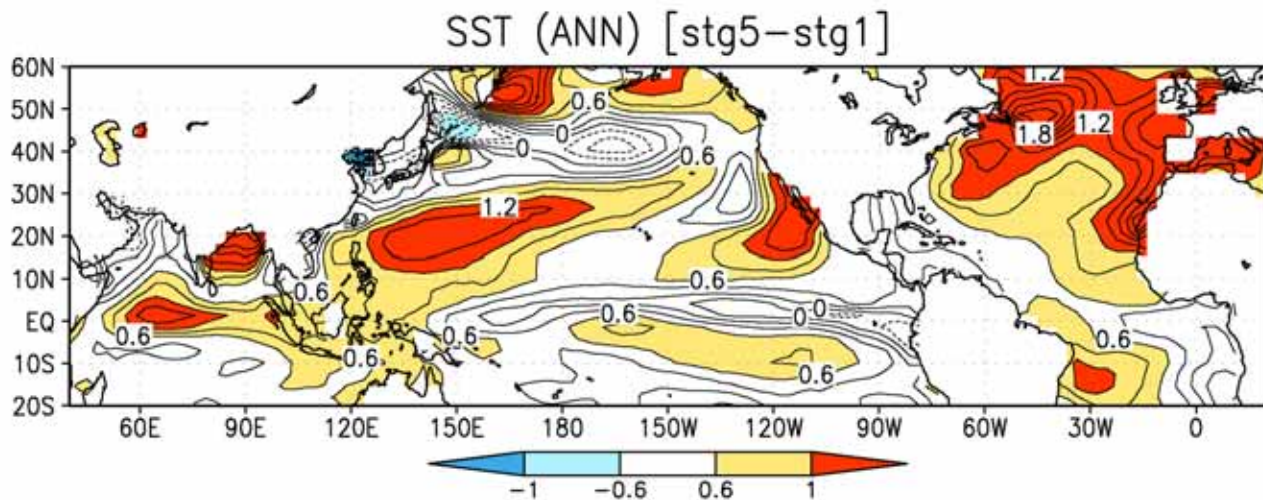


図 3 ヒマラヤ・チベット山塊がある場合(100%)とない場合(0%)の年平均海面水温の差。単位：℃。

参考文献

Abe, M., A. Kitoh and T. Yasunari, 2003: An Evolution of the Asian Summer Monsoon Associated with Mountain Uplift -Simulation with the MRI Atmosphere-Ocean Coupled GCM-, *J. Meteor. Soc. Japan*, 81, no. 5, 909-933.

Abe, M., T. Yasunari and A. Kitoh, 2004: Effects of Large-scale Orography on the Coupled Atmosphere-Ocean System in the Tropical Indian and Pacific Oceans in Boreal Summer, *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, no. 2, 725-743.