

ENSO・モンスーンシステムの過去、現在、未来

気候研究部 鬼頭昭雄

1. はじめに

地球上の気候は、地質学的時間スケールから数十年あるいは年々までの幅広い時間スケールで、変化が続いている。気候の自然変動は人類の歴史に大きな影響をもたらしてきたが、逆に人間活動が気候を変えていることも明らかになってきた。日本はアジアモンスーン域に位置しているが、熱帯太平洋でのエルニーニョ・南方振動現象（ENSO）の影響も受けている。これからの気候はどうなるのか、モンスーンは強まるのか、ENSOは変調するのか、それらは過去の長い歴史を通じてどう変わってきたのか、そもそも変動のメカニズムは何か。これらの疑問に答えるツールが全球大気海洋結合大循環モデル（＝気候モデル）である。

2. 大規模山岳の気候形成への影響

大規模山岳の存在は、気候の形成に対して大きい影響を持っている。地質学的には数千万年かけてチベット高原が上昇し、それに伴ってアジアの気候も変遷してきた。しかし山岳の段階的上昇に伴いモンスーンがどう変化するか、海面水温はどう変わるか、ENSOはどう変調されるかについてはわかっていない。そこで、気候モデルを用いて、海陸分布は現在と同じのまま全球のすべての山岳がない実験、通常山岳有り実験、山岳高度を段階的に変える実験を行った。

山岳上昇により、降水量・大気循環場や海面水温などに系統的な変化が現れた。500hPaの東西風は山岳高度が40%以下では一年を通してチベット高原の緯度帯より北に位置するが、山岳を60%より高くすると冬季にはチベット高原の南側にあり、春季にチベット高原の北へシフトすることがわかった。夏季の降水量分布では、山岳のない実験では降水域が10°N付近にとどまっているが、山岳を段階的に上昇させる

と降水域は北上するとともにユーラシア大陸内へ移動する。同時に太平洋亜熱帯高気圧および貿易風が強化される。山岳高度が60%をしきい値として東アジアの循環場には大きな変化がおき、梅雨降水帯は山岳高度が60%より高い時のみ発現した。また潜在植生分布の推定から、乾燥気候に区分される面積は山岳上昇とともに減少することが分かった。

年平均海面水温を見ると、山がない場合には暖水域が日付変更線付近に位置するが、山岳高度が高くなるほど貿易風が強化し、暖水域はインドネシア周辺海域に移る（図1）。モデルエルニーニョは山が無くても存在し、その形状は赤道に対して南北対称性が強く、振幅が大きく規則的で、かつ周期が長い。山岳が高くなるとともに、ENSOの振幅が小さく、周期は短くかつ非規則的になった。これらの変調は、山岳高度が高くなるにつれ大陸のモンスーン性降水量が増加し、海洋上の亜熱帯高気圧が強化したこと、貿易風が強化され水温変動の南北幅が狭まるとともに水温変動の大きい経度が西偏し西岸までの距離が短くなること、およびENSOに対するモンスーン等の中緯度の影響が加わることで解釈できる。

3. 古気候

過去数十万年の間にはアジアの気候も氷期・間氷期サイクルで変動してきた。氷期にはインドモンスーンが弱く寒冷で乾燥していたが、その後の10,000～5,000年前には現在より湿潤な気候状態になったことが、古気候プロキシデータから分かる。9,000年前には北半球夏季の太陽入射量は現在より8%大きかったが、その後減少に転じた。南アジアモンスーンも、今から6,000年前をピークとして、その強度は徐々に弱まった。

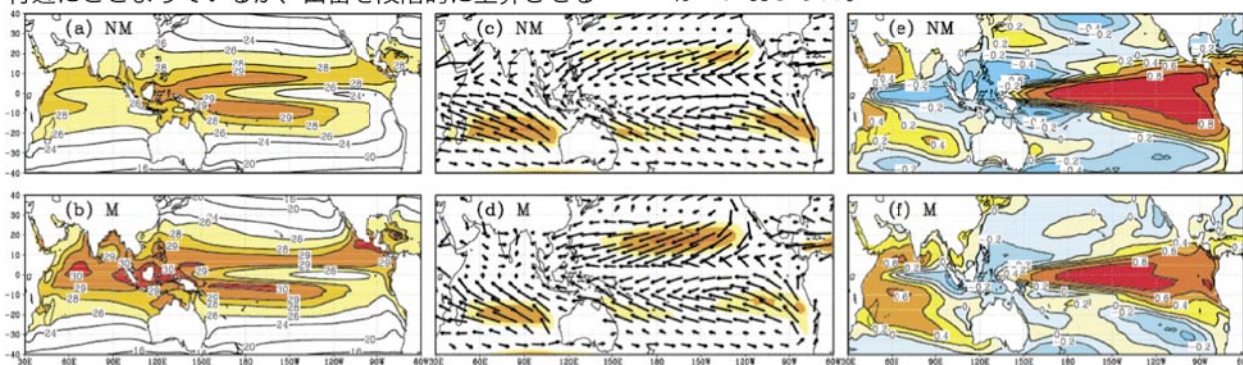


図1：山岳による（左）海面水温、（中）海面風、（右）エルニーニョの変調。（上）山岳無し、（下）山岳有り。

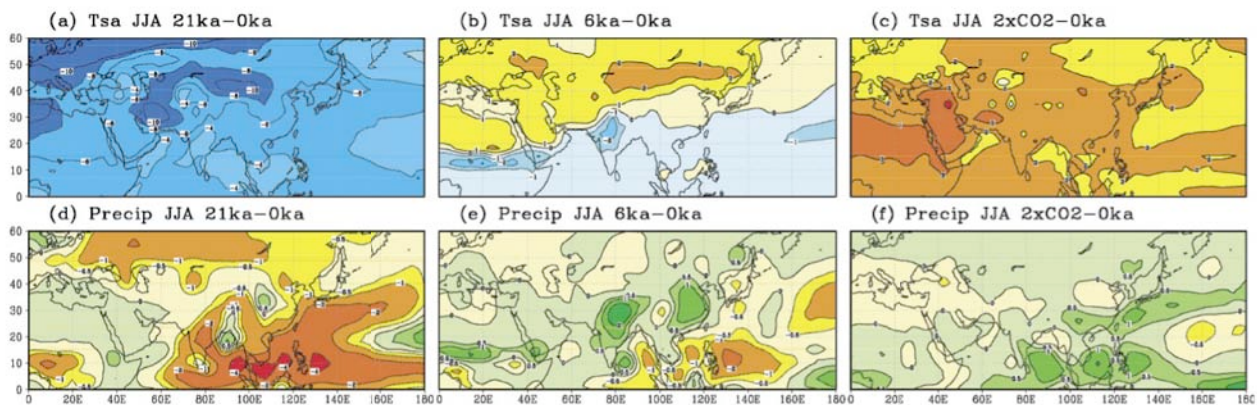


図2：(左)最終氷期最盛期、(中)完新世中期、(右)CO₂倍増時の夏季の(上)地上気温と(下)降水量の変化。

約21,000年前の最終氷期最盛期(LGM)と6,000年前(完新世中期)の気候再現実験を、古気候モデリング相互比較実験の一環として行った。図2に気象研究所の気候モデルによる気温・降水量変化を示す。LGMでは、すべてのモデルが北アフリカでの降水量の減少を、ほとんどのモデルがインドと中国東部の降水量減少を再現しており、アフリカ・アジアモンスーン強度の減少を示している。完新世中期にはアフリカ・アジアモンスーンの北へのシフトが明瞭であるが、アフリカでのシフトは古気候プロキシから推定されるものに比べると過小評価しており、植生変化の重要性が示唆される。相互比較実験では、データとの比較を通して気候モデル感度の妥当性研究やENSOの再現性研究も実施されている。

4. 将来の気候予測

世界の約20の気候モデルグループでは、1850年以降2000年までの20世紀気候再現実験、SRES A2・A1B・B1の各シナリオでの2100年までの予測実験などを行った。その結果を用いてのモンスーンやENSOなどの将来変化に関する論文が多数報告されている。

図2右には古気候実験と対比させるために気象研モデルによるCO₂倍増実験の夏季の気温・降水量変化を示した。完新世中期は北半球夏季の気温が高くモンスーンも強かったが、気温・降水量の分布は異なっており、むしろ温暖化実験はLGMの符号を反転させた変化に似ている。これは、完新世中期では北半球の夏冬の季節変化の増大が原因なのに対し、LGMの気候変化の主因の一つが温室効果ガスの減少であることに依っている。複数モデルの解析とも合わせると、将来の気候変化では、冬季には北極海及びユーラシア大陸の東側での昇温が大きく、夏季には中東～中国西部のいわゆる乾燥域での昇温が大きい。また、夏季のアジアの降水量が増加すること、雨期入りの期日の変化は比較的小さいものの、台湾・琉球諸島から日本南方にかけての地域では梅雨明けが遅れる傾向があることが示された(図3)。

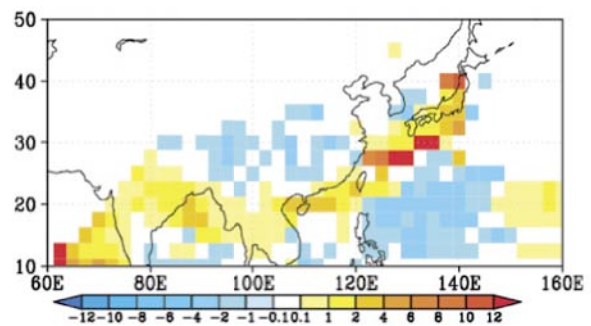


図3：温暖化による雨期の明けの遅(赤)・早(青)。

ENSOはモンスーン域の年々変動に大きく影響を与えており、したがって地球温暖化によりENSOのふるまいがどう変わるか、さらにはENSOとモンスーンの関係がどう変わるかはモンスーン域の気候にとって関心を集めている。多モデルの比較によると、ENSO活動度が小さくなるか変わらないと予測するモデルから大きくなると予測するモデルまであり、モデル間の違いが大きく、今の所結論出来ないというべきであろう。これには、それぞれのモデルの制御実験でENSOを十分精度良く再現できていないことも影響している。

観測データの解析から、ENSOとモンスーンには有意な相関関係があるとされてきた(エルニーニョ時にインドモンスーン降水量が少なく、ラニーニャ時にはインドモンスーン降水量が多くなる傾向)が、この相関関係には数十年スケールでの顕著な変動があることが分かってきた。また最近では相関関係が崩れてきたことから、その原因として温暖化の影響を示唆する報告もある。

5. まとめ

気候モデルは、現在気候の再現、年々変動メカニズムの研究や温暖化予測、古気候研究など幅広い目的で用いられている。気候モデルは、現在とは異なる条件下で用いられ性能評価されることで、さらに発展し高度化されるものである。