

# 人間活動はアジア モンスーンを変え つつあるのか？

安成 哲三 やすなり てつぞう

(名古屋大学地球水循環研究センター)

## 変わりつつあるアジアの雨の降り方

2005年10月号の本誌に、「地球温暖化」はアジアモンスーンをどう変えるか? というタイトルで、人間活動による温室効果ガスの増加がアジアモンスーンに伴う降水量変化の可能性について、過去数十年の観測データをもとに多少の議論をおこなった。あれからまだ2年半しか経っていないが、この議論には大きな進展があった。

ひとつは、日降水量や時間降水量という時間分解能の高い観測データによる日本、中国、インド、東南アジアなど、モンスーンアジア地域の各地域での過去数十年程度の観測データにもとづいて、降水強度別の頻度の長期的傾向に関する研究<sup>(1)~(3)</sup>が出てきたことである。これらの研究では、いずれも、季節的な総降水量そのものの増減傾向には地域を通じた特徴的な変化は見られなくても、豪雨の頻度が増加し、弱い雨の頻度が減少

するという傾向が、とくに1960年以降に顕著になっている。これは、アジアモンスーンに伴う降水システムが変化してきたことを示唆している。

一方、2007年末に出版されたIPCC第4次報告書<sup>(4)</sup>では、世界で最も優れているとされる20程度の気候(大気大循環)モデルの温室効果ガス増加実験結果を合わせてアンサンブル平均し、2100年までの全球および地域ごとの気温や降水量の変化傾向を予測している。

アジアモンスーン地域についての結果をまとめると、夏季アジアモンスーンの循環は弱まるが、大気中の水蒸気量が増加するため、南アジア(インド亜大陸)も東アジアも、降水量は弱いながら増加傾向となるとまとめている。また、弱い雨は減少し、豪雨の頻度が増加するという傾向が多くモデルで現れていることを指摘している。図1<sup>(5)</sup>に示す一例は、日本付近の春・夏季に、日降水量50mmの強い雨の日が「温暖化」により増加することを示している。豪雨の頻度が増加し、弱い雨の頻度が減少するという傾向は、最近数十年の観測による傾向と一致しており、今後注目すべき現象である。豪雨頻度が増加していることは、台風などの強い熱帯性低気圧などの発達した降水システムによる雨の割合が増加していることを示唆している。ただ、アメリカの超大型ハリケーン「カトリナ」の時に話題になったように、発生数は減るが非常に強い台風が増加するかどうかについては、モデルごとのバラつきはまだ非常に大

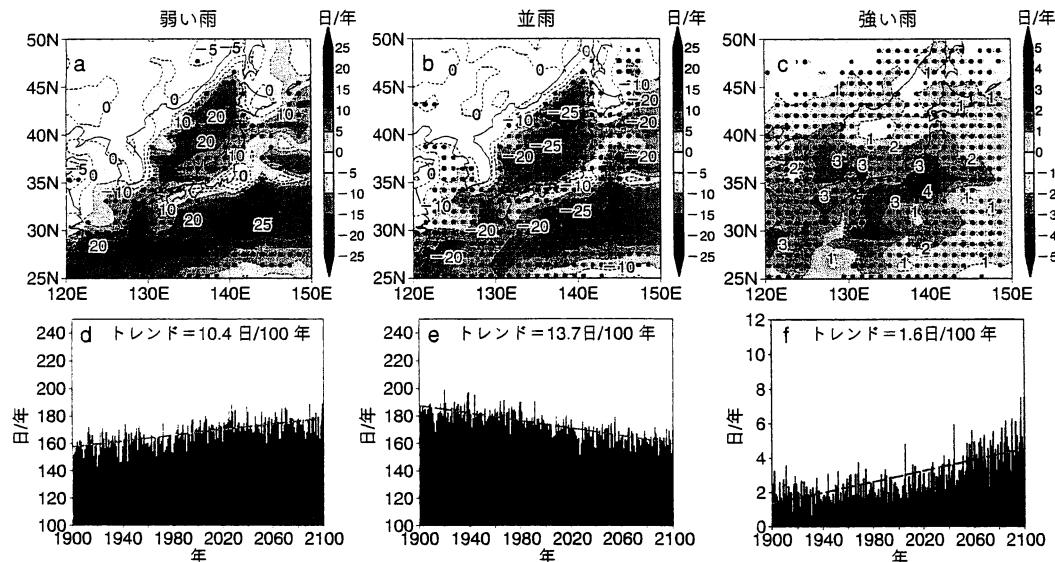


図1—上図(a~c): 高解像度気候モデルを用いた気候予測実験による20世紀末(1971~2000年)から21世紀末(2071~2100年)にかけての強度別降水日数の変化。(a)日降水量1mm以下の弱い雨、(b)同1~20mm程度の並雨、(c)同50mm以上の強い雨。スケールは日数変化の値。図中の点は有意な差のある領域を示す。下図(d~f): 強度ごとの上図領域における1900~2100年までの降水日数の変化<sup>(5)</sup>。

きく、一致した結果とはなっていない。

## エアロゾルは放射収支や降水量を変える

温室効果ガスの増加だけでなく、最近話題になっているもうひとつの人間活動の影響が、エアロゾルの増加である。アジア地域は中国、インドを中心として、人間活動による大気中へのエアロゾル(大気微粒子)の増加が著しく、このエアロゾル増加による広域の大気加熱と雲形成過程への影響を通して、アジアモンスーンに影響を与えていることが大きな問題となりつつある。エアロゾルの放射(気候)に与える影響には、直接効果と間接効果がある。直接効果とは、エアロゾルが太陽放射を直接散乱させたり吸収することにより、大気および地表面での放射収支に影響する効果であり、間接効果とは、エアロゾルが雲の凝結核として働くことにより、雲粒を小さくする一方で雲粒数を増加させることを通して雲の光学的性質を変化させ、ひいては雲が放射収支に影響する効果である。さらに、この雲生成過程への影響は、雲の寿命や降水量にも影響を与える可能性があり、この効果は第2種間接効果とよばれている。

さて、これらのエアロゾルの効果がアジアモンスーンに影響を与えることは十分にありうる。実際、中国・インド上空のエアロゾル分布による大気の光学的厚さ(放射に対する大気の不透明度の指標)は大きいいため、夏季の地表面加熱が弱められていることになり、その過程だけに着目すると、大陸と海洋の加熱のコントラストで形成されるモンスーンは弱まることになり、そのような結果を出した気候モデル実験もある<sup>(6)</sup>。ただ、太陽放射エネルギーを直接吸収する黒色カーボン(すす)も増加しており、とくにインドでの人間活動によりヒマラヤ付近に増加した黒色カーボンは、アジアモンスーンを強化する方向で影響している可能性を指摘する研究<sup>(7)</sup>もある。IPCCでまとめられた気候モデルによる結果には、過去数十年で急激に増加したエアロゾルは、全球的な温室効果による

温暖化をある程度相殺していることも指摘している。ただ、アジアモンスーンの大気循環や降水量に変化を与えているかどうかは、検証が非常に困難であり、まだ決定的な結果は出ていない。

## 地表面改変が引き起こすモンスーン気候の変化

人間活動のアジアモンスーンへの影響でもうひとつ考慮すべき要素は、植生などの地表面の改変である。森林から耕地や草原への変化は、アルベード(反射率)、地表面粗度(凸凹度)や光合成活動による蒸散量などの変化を通して、地表面の熱収支・水収支を変え、これが大規模に起こった場合は、陸地の加熱の程度を変化させ、ひいてはモンスーンを変化させる可能性がある。

中国での過去数十年の土地利用変化が東アジアモンスーンの気流系を変化させうることを、いくつかの気候モデルは示している。さらに、森林から耕地などへの変化は、その変化過程でさまざまなエアロゾルを放出して、大気にも影響する可能性もある。この効果は、もともと大部分が森林で覆われていた18世紀頃のインドで大英帝国による植民地化の過程で森林から耕地への大規模な改変が行われた時代に、インドモンスーンの降水量変化に少なからぬ影響を及ぼしたことを、私たちの気候モデル実験は示唆した<sup>(8)</sup>。ただし、とくに最近の地表面改変のインパクトは、上記の他のふたつの効果とどのように分離できるかという問題もあり、現在のところ、評価は非常にむずかしい。

## 文献

- (1) F. Fujibe et al.: SOLA, 1, 41(2005)
- (2) N. Endo et al.: J. Meteorol. Soc. Japan, 83, 621(2005)
- (3) B. N. Goswami et al.: Science, 314, 1441(2006)
- (4) J. H. Christensen et al.: in 'Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change', Cambridge University Press(2007)pp. 847~940
- (5) M. Kimoto et al.: SOLA, 1, 85(2005)
- (6) V. Ramanathan et al.: PNAS, 102, 5326(2005)
- (7) K. M. Lau et al.: Climate Dynamics, 26, 855(2006)
- (8) K. Takata et al.: submitted to PNAS(2008)