

地球温暖化に挑む

地球温暖化問題は、人類が直面する緊急的な課題の1つである。

地球の温暖化が進むことによって私たちの社会はどのような影響を受けるのか。

私たちはそれにどう対応すべきなのか。

地球温暖化について研究する2人の研究者がグローバルな視点、ローカルな視点から私たちの道を指し示す。

(2008年6月21日、第15回理学懇話会より)

「地球温暖化」でアジアの雨と雪はどう変わるか?

安成 哲三 地球水環境研究センター教授



Tetsuzo Yasunari

1971年京都大学理学部卒業、1977年同大学院理学研究科博士課程修了。京都大学東南アジア研究センター助手、筑波大学地球科学系講師、同助教授、教授を経て、現在、名古屋大学地球水環境研究センター教授、筑波大学名誉教授。21世紀COE「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」拠点リーダーを兼任(2003年～2008年)。

水循環の重要性

今、地球温暖化が大きな問題になっており、いろいろな議論がなされています。二酸化炭素に代表される温室効果ガスの増加が、地球温暖化に大きな影響を与えつつあるのは事実でしょう。しかし私は温暖化とともに重要な問題がもう1つあると考えています。

私は、名古屋大学の地球水循環研究センターにおり、地球の水循環の研究をしています。「地上に降った雨は、川から海に流れ、海から蒸発して、地上に降る」という水循環は我々の生活を保障している大事な現象です。また、地球は「水惑星」といわれ、地球の気候は水なしでは考えられません。地球温暖化とともに私が気になっているのは、この水循環の変化です。今日は温室効果ガスの増加によって水循環がどう変わるかについて、アジアを中心に話したいと思います。

日本を含むアジアモンスーン気候の特徴は雨季があることです。日本でいえば梅雨です。梅雨の雨をもたらしている水蒸気は基本的にインド洋や太平洋で蒸発して、湿った風として日本付近まで来ます。梅雨のこの時期は毎年大雨が降り、あちこちで洪水をおこしています。その一方で、全然、雨が降らないこともあります。木曾三川が流れる名古屋は水に恵まれている場所ですが、1994年は渇水に見舞われピンチでした。名古屋の水がめである飛騨川の岩屋ダムがほとんど完全に干上がってしまいました。地球温暖化により、洪水が増加するか、あるいは干ばつが増加するのか、ということは大きな問題です。

もちろん降水量そのものも問題になります。北海道を除いて、日本の年間降水量はどこでも1000mm～2000mmぐらいです。ところが、これを1人当たりが使える水の量に換算すると、人口の集中している関東や近畿では非常に少なくなります。同じように人口が集中していても東海は木曾三川が流れているため、関東、近畿に比べれば、やや恵まれています。世界的にみて水に恵まれているはずのアジアモンスーン地域も水不足が心配されています。とくに中国やインドは、人口が増加し、経済活動が増大しているため、水需要が切迫している状況があります。こうしたことから水循環が私たちの生活に与える影響の大きさがわかります。

温室効果ガス増加は気候をどう変えるのか?

ここで大気中の二酸化炭素濃度の変化について確認をしておきましょう。地球は100万年ぐらい前に気温の大変化があって、その後は寒冷な氷河期と温暖な間氷期を繰り返し、今は間氷期に位置します。氷河期と間氷期を繰り返すあいだは、気温の上がり下がりに対応して、二酸化炭素の濃度も大きく変化してきました。2万年前は現在よりも10度ぐらい気温が低かったわけですが、そのときの二酸化炭素濃度は180ppmぐらいでした。その後、間氷期に入り1万年以降は280ppmのレベルになっていました。すなわち、二酸化炭素は地球の気候システムにおいて寒冷(温暖)な時期には大気中の濃度を下(上)げて温室効果を弱め(強め)、より寒冷(温暖)化を維持促進するという、一種の正のフィードバック機構として働いていることが示唆されます。ただし過去100万年間、大体10万年ぐらいの周期で180ppmと280ppmの間を行ったり来たりしていて、数回の暖かい間氷期でも280ppmは超えていませんでした(図1)。ところが現在の二酸化炭素濃度は380ppmに達しており、これは間違いなく産業革命以後の人間活動による増加だと考えられます。さらに、IPCC(International Governmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)が2007年に発表した第4次報告書では、今後の二酸化炭素濃度について、二酸化炭素排出のコントロールの仕方にもよりますが、図1に示すように、2100年には少なくとも見積もって600ppmか700ppmぐらい、多く見積もれば1100ppmぐらいになると予測しています。

実際に人間活動によって増加しているのは温室効果ガスだけではなく、二酸化炭素を排出する工場や自動車は、二酸化炭素以外に硫酸化物や炭化水素などの微粒子を吐き出しています。大気中に排出された小さな粒子を「エアロゾル」とよびます。二酸化炭素やエアロゾルがあった場合と、なかった場合とを比較して、地上への放射エネルギーがどれだけ増加(減少)するかを示す量を「放射強制力」といいます。二酸化炭素は、地球から宇宙に放出する放射エネルギーを遮断するため、大気を加熱する方向に働きます。エアロゾルの大部分は太陽エネルギーを反射したり、太陽光を跳ね返す雲をつくる核になるため、冷やす方向に働きます。

ここで重要なのが水蒸気の働きです。水蒸気は強力な温室効果ガスであり、二酸化炭素よりも強い放射強制力をもっています。一方で水蒸気が凝結して形成される白い雲は、太陽から地球に届くはずのエネルギーを反射してしまいます。つまり、水蒸気は放射強制力を増やす可能性、減らす可能性の両方をもっています。水蒸気が2つの可能性をもっていることは、温室効果ガス増加による水循環の変化と、その気候に与える影響を予測することをさらに難しくしています。どちらにしても、水は地球の気候に対して大きな役割をもっていることは確かです。気温が上がると、大気中に含まれる水蒸気の量は右肩上がりに急速に増加します(図2)。この関係があるからこそ、地球温暖化は、水循環にとって大きな問題になるわけです。

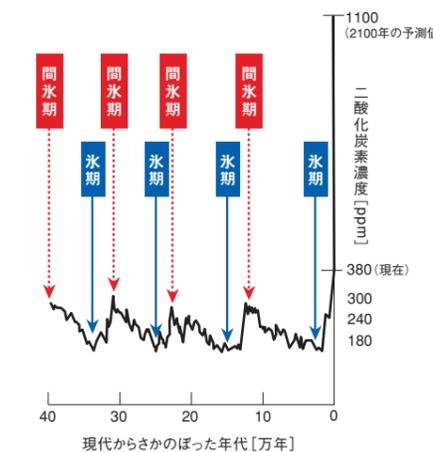


図1 温室効果ガスであるCO₂(二酸化炭素)の大気中濃度の過去4万年における変化
CO₂濃度は氷期・間氷期で180～280ppmの範囲で増減していたが、現在のCO₂濃度は、過去数十万年での変動範囲をはるかに超えた値を示している。さらに、IPCCによる2100年での予測値は、現在の2～4倍前後を示している。(IPCC, 2007)

IPCCで出された報告書では、二酸化炭素の排出量コントロールの有無によってさまざまなモデルが考えられていますが、どのモデルも全般的に大体100年で平均1.5～2.5度ぐらいの平均気温の上昇を予測しています。とりわけ北半球の温暖化傾向は顕著です。なぜ北半球で温暖化が進むかというと、北極圏の水の減少が大きな要因になっています。雲と同じで、雪原は太陽光の熱を反射する効果が大きいのですが、積雪面積の減少によって、ますます気温が上がります。逆に南極があまり変わらないのは、温暖化してもマイナス数十度がプラスになることはなく、むしろ図2の関係からもわかるように水蒸気が増加することにより、降水(降雪)量は増加する可能性があるため、南極の厚さ3000mの水はこの温暖化で当面は解けないと考えられているためです。

すでに温室効果ガス増加の影響が現れていると考えられる過去20～30年の気候要素の変化を見ると、気温は確実に上がっています。とくに近年の全球的な平均気温の上昇は顕著で、積雪面積も減少しています。積雪面積の減少が北半球の高緯度地域の平均気温をさらに上昇させている可能性は先ほど述べた通りです。積雪面積の減少は雪が海水に解けていることを意味し、これにより海面が上昇しています。気温が上昇することによって、海面近くの水が膨張することや、山岳氷河の融解などにより、水位が上がるといふ現象もおきています。南極やグリーンランドの水が解けることによる海の水位上昇は、現在のところは現れていないようです。

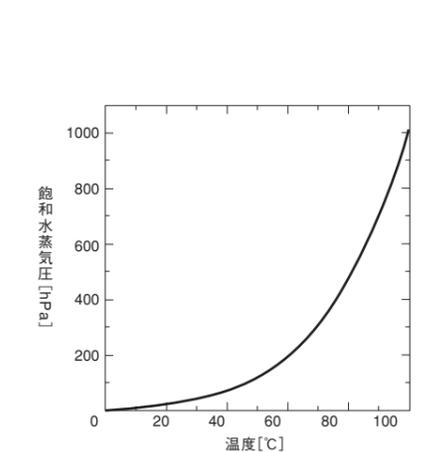


図2 温度と飽和水蒸気圧の関係
大気中に含まれる水蒸気量は気温の上昇とともに指数関数的に増大する(クラウジウス-クラペイロンの式)。

温室効果ガス増加に伴う降水量変化は？

さて、問題は温室効果ガス増加が降水量変化に与える影響です。IPCCの報告では、降水量について以下のような予測がなされています。図2のように右肩上がり水蒸気が増えると、雲ができやすくなり、熱帯では台風などの熱帯低気圧活動が活発になり、中高緯度では温帯低気圧による雨と雪が増える可能性があります。全般的に水蒸気が増えると水循環が活発化する可能性があることです。一方で、もし雲の活動がより強くなれば、日射を遮る効果により温暖化を抑制する方向に進む可能性もありますが、これについてはまだ答えが出ていません。IPCCの報告書では、世界の降水量は、右肩

上がりになっており、世界的に雨が増えるという予測をだしています。しかし、気温変化の予測との大きな違いは、モデル間のばらつきが非常に大きいということです。たとえば「ほとんど何も変わらない」といっているモデルもあれば、「極端に雨が増える」といっているモデルもあります。水の循環、水が絡むと不確定な要素が大きくなるということです。全部平均すると「何となく増加している」ことは確かですが、個々の地域別に見たときには大きな問題が発生することが予想されます。このような問題を含みであることを前提に、IPCCによる100年後の全球的な夏と冬の降水量変化の予測を見てみましょう(図3)。アジアモンスーン

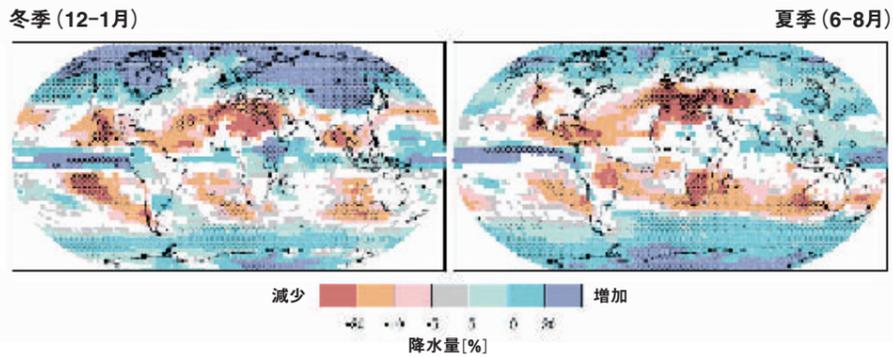


図3 温室効果ガスが増加した場合の降水量変化の予測
あるシナリオで温室効果ガスが増加した場合の21世紀末(2090-2099)における全球的な降水量変化の平均的なパターン。約20の気候モデルによる予測結果を平均した値を、20世紀末(1980-1999)の値との差で示す。網かけ部分は90%以上のモデルが同じ傾向を示した地域であり、白抜き部分は、同じ傾向を示したモデルは66%以下であった地域を示す。(IPCC, 2007)

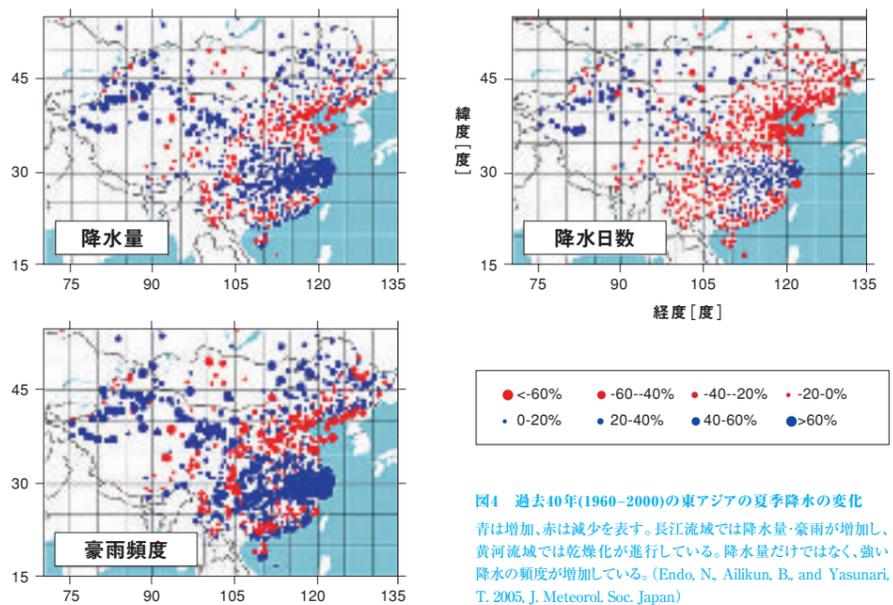


図4 過去40年(1960-2000)の東アジアの夏季降水の変化
青は増加、赤は減少を表す。長江流域では降水量・豪雨が増加し、黄河流域では乾燥化が進行している。降水量だけではなく、強い降水の頻度が増加している。(Endo, N., Aikun, B., and Yasunari, T. 2005, J. Meteorol. Soc. Japan)

地域は、夏の降水量が少々増加する傾向が見えます。その一方で地中海は、干ばつ傾向になる可能性があります。地中海は現在、すでに干ばつ傾向が広がっています。全体として「雨が多いところは全般的には増え、雨が少ない乾燥地域ではますます乾く」というのが大きな傾向です。

現実の過去の降水量変化はどうでしょうか。全球的な降水量分布に相当するデータは、この20年でやっと人工衛星によって観測できるようになってきましたが、この20年間長期的な変化傾向は現れていません。年々の変動はありますが、決して増えているとか減っているということはないのです。つまり二酸化炭素濃度の上昇によって降水量が上昇している確固たる証拠は、現在のところありません。

ただし、1つ気になることがあります。それは豪雨の頻度が増加していることです。強い雨の発生頻度が増加傾向にあるようです。さらに水蒸気の量も増加傾向にあることがわかってきました。以上からこんなことが予想されます。水蒸気は大気の下層に増える傾向があります。大気の下層つまり地上付近に水蒸気が増えると大気が不安定になり、積乱雲が発達しやすくなります。この発達した積乱雲が豪雨を引き起こす大きな要因になっているのかもしれない。

アジアの降水量はどう変わるのか？

もう少し詳しく、アジア地域の過去の降水変動を見ていくことにしましょう。まずはインドですが、長期的な変化傾向は顕著には現れていません。ただ、1日の降水量が100mmを超えるような強い雨が増えています。その反対に普通の雨、弱い雨は相対的に減ってきています。中国は長江流域では降水量が増えてきているのに対し、黄河流域では、降水量も降水日数も減ってきています。私たちの研究では長江流域ではインドと同じように強い雨が多くなり、弱い雨が少なくなっています(図4)。

日本はどうでしょうか、平均気温は上昇しています。とくに80年代後半からの温暖化傾向は顕著です。一方、日本列島全体の降水量は1970年代ごろから減少傾向にあり、同時に干ばつ傾向と洪水傾向がどちらもが頻繁に起こるようになってきました。降水量が減少している一方で、豪雨の発生頻度は過去100年で増えています

(図5)。日本でもインドや中国の長江流域と同じ傾向がうかがえるということです。

降雨は非常に局地的な現象としておこる傾向があり、予測は大変難しい問題です。二酸化炭素濃度や平均気温が全球のあるいは広域に同じように上昇していても雨の降り方には地域によって大きな違いが出てきます。ただ、水蒸気の増加により、熱帯の雨のように降らないときは降らない、降るときは激しく降るという傾向が強まるのではないかと考えられています。

日本の雪はどう変わるのか？

最後に日本の冬の雪の話をしたと思います。シベリアから寒気が吹き出し暖かい日本海で水蒸気をもらい日本列島にぶつかって日本海側は大雪になり、太平洋側は乾燥が続くというのが日本の冬の気候です。新潟や東北の日本海側では2mとか、多いときには3m近い雪が積雪します。山に積もった雪は春になって解けて川に流れ込みます。その川は日本海側だけでなく太平洋側にも流れます。つまり日本海側に降った雪は日本全体の水がめとなるので、雪に縁のない太平洋側に住む人間にとっても雪は大切な水資源なのです。

平均気温の上昇はこの雪の積雪量に大きな影響を与えています。1960年からの最深積雪を見ると1980年代後半から大きく減少していることがわかります。

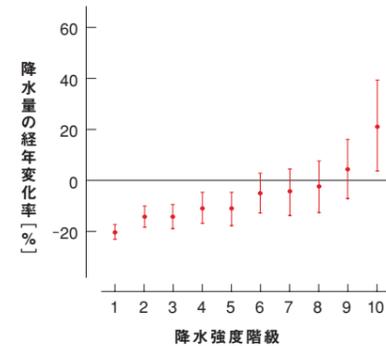


図5 過去約100年(1898-2003)における日本全国降水強度の階級別の降水量の経年変化率(直線トレンド)
過去約100年(1898-2003)における日本全国の4時間降水量でみた降水強度の階級(1-10:10がもっとも降水量強度が大きい)別の(年間)降水量の経年変化率(直線トレンド)を示す。強い降水強度(8-10)の降水量は増加傾向を、弱い降水強度(1-6)は減少傾向を示している。(Fujibe, F., Yamazaki, N., Katsuyama, M., and Kobayashi, K. 2005, SOLA)



図6に示すように、世界的にみると、雪は気温が低くて水蒸気が少ない地域に降ることが多いため、換算降水量としては少なく、月で100mm程度以下がふつうです。しかし、日本、とくに日本海側では、気温が相対的に高く、降雪量が非常に多くなっています。このような暖地降雪地域は世界でも珍しく、北海道を除く日本列島の雪国で、ぎりぎりの気温条件のもとに、多降水量の降雪を保ってきたわけです。しかし、そのために、ちょっとした気温の上昇が積雪量に大きな影響を与えることになります。日本にとっては夏場の

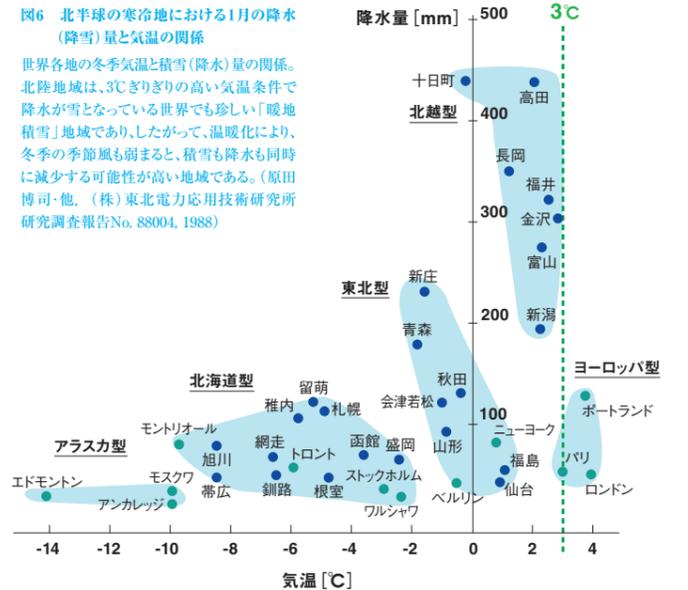


図6 北半球の寒冷地における1月の降雪(降雪)量と気温の関係
世界各地の冬季気温と積雪(降水)量との関係。北陸地域は、3℃ぎりぎりの高い気温条件で降水が雪となっている世界でも珍しい「暖地積雪」地域であり、したがって、温暖化により、冬季の季節風も弱まると、積雪も降水も同時に減少する可能性が高い地域である。(原田博司・他。(株)東北電力応用技術研究所 研究調査報告No. 88004, 1988)

豪雨の増加もさることながら、冬の積雪量の減少も大きな問題になってくると考えられます。とくに冬の積雪量は、日本列島の水資源として非常に重要であり、「地球温暖化」は深刻な影響を与える可能性があります。温暖化による降水量の変動予測はまだ始まったばかりで未解明な問題も多く、正確な予測ができるようになるのには時間が必要です。しかし人間活動に与える影響は気温変動よりも大きいと考えられるため、一層研究に励んでいきたいと思えます。本日はありがとうございました。