

よくある質問と回答

**FAQ 12.2 | 地球の水循環はどう変化するのか？**

地球の気候システムにおける水の流れと貯蔵は変動が大きいですが、自然変動に起因する以上の変化が今世紀末までに予想されている。温暖化した世界では、降雨、表面蒸発、植物蒸散が正味で増加するだろう。しかし、場所によって変化に相当な違いがあるだろう。降水量と陸域への水の蓄積が増える所もあれば、地域的な乾燥や雪水面積の減少により水量が減る場所もある。

水循環は、全ての相で地球に蓄えられている水と、地球の気候システムを通じた水の移動で成り立っている。大気中では、水は主に気体(すなわち、水蒸気)として現れるが、雲の中では氷や液体の水としても現れる。海洋はいうまでもなく主に液体の水だが、海洋もまた極域では氷によって一部覆われている。液体の陸水は、表面水(湖沼や河川など)、土壌水分、地下水として現れる。固体の陸水は、氷床、氷河、地表の雪氷、永久凍土や季節的に凍結する土壤に現れる。

将来気候についての報告では水循環が加速化すると述べられていることが時折あるが、これは誤解を招きかねない。厳密に言えば、このように言ってしまうと水の循環が時間とともに全ての場所においてどんどん速さを増して現れるということを暗に意味してしまうからである。確かに、世界のある部分では水循環が強まり、水の輸送が増えて貯水場所を出入りする水の動きが加速化するだろう。しかし、気候システムの他の部分では、相当な水の枯渇が生じ、よって水の動きも減ることになる。貯水場所の中には消えてなくなるものさえある。

地球が温暖化すると、温暖化した気候にตอบสนองして一般的な特徴の変化がいくつか現れる。こうした変化は、地球温暖化が気候システムに追加するエネルギー量によって左右される。あらゆる形態の氷はより速く融解し、いまほど広い範囲では見られなくなる。例えば、本報告書で評価の対象となっているいくつかのシミュレーションでは、北極域の海水は今世紀半ばまでに消滅する。大気中の水蒸気は今後増加し、観測やモデルの結果は既に増加が始まっていることを示している。21世紀末までに、大気中の平均水蒸気量は、温室効果ガスやばい煙などの放射効果を持つ粒子の人為的排出量に応じて5~25%増加する可能性もある。水は表面からより素早く蒸発することになる。海面水位は、昇温する海水が膨張することと融解する陸氷が海洋に流れ込むことによって上昇するだろう。(FAQ 13.2を参照)。

しかし、このような一般的な変化は気候システムの複雑さによって変えられてしまうため、全ての場所で均等に生じる、あるいは全て同じペースで生じると考えるべきではない。例えば、大気中、陸域、海洋での水の循環は、気候の変動に伴って変化し、一部の場所に水が集中することもあれば、別の場所では枯渇することもある。変化は1年の間でも違いがあり、ある季節は他の季節よりも雨が多くなりがちということもあり得る。例えば、本報告書で評価しているモデルシミュレーションによれば、アジア北部では冬季降水量は50%以上増加する可能性があるが、夏季降水量はほとんど変化しないと予測されている。人間もまた、水管理や土地利用の変化を通じて、水循環に直接介入する。人口分布や水利用法の変化は、水循環にさらなる変化をもたらすだろう。

水循環過程は、分単位、時間や日単位、あるいはそれ以上の期間にかけて、数メートルから数キロメートル、あるいはそれ以上の範囲で生じ得る。こうした様々な規模での変動は一般に温度の場合よりも大きいため、降水に現れる気候変動はより識別しにくい。このような複雑さにもかかわらず、将来の気候変動の予測では、多くのモデルや気候強制力シナリオの間に共通する変化が示されている。第4次評価報告書にも似たような変化は報告されていた。これらの結果を合わせると、その大きさはモデルや強制力によって異なるとはいえ、しっかりと理解された変化のメカニズムがあることが示唆される。ここでは、水循環における変化が人間と自然のシステムに最大の影響を与える陸域での変化に焦点を当てる。

本報告書で評価されているシミュレーションによる気候変動の予測では(FAQ 12.2 図1の概略図を参照)、全般に熱帯域の中央と極域で降水量が増加し、最も排出量の多いシナリオでは21世紀末までに増加率が50%を超える可能性も示している。これに対し、亜熱帯域の大部分では30%以上減少することもあり得る。熱帯域では、このような変化は、大気中の水蒸気の増加と、水蒸気を更に熱帯域に集中させ、それによって熱帯域の降雨量の増加を促進する大気循環の変化に支配されているようである。亜熱帯域においては、地域の温暖化にもかかわらず、こうした循環の変化が同時に降雨量の減少を促進する。亜熱帯域には世界の砂漠の大部分が位置しているため、こうした変化は既に乾燥した地域の乾燥を増進し、砂漠が拡大する可能性を暗示している。(次ページに続く)

## FAQ 12.2(続き)

より高緯度域における増加は気温の上昇によって支配される。気温が上昇すると大気中により多くの水を含むことが可能になり、したがってより多くの降水をもたらす。さらにまた、気候が温暖化すると、典型的な風の強さの大幅な変化を必要とせずに、温帯低気圧系がより多くの水蒸気を高緯度域に輸送することも可能になる。上述したように、高緯度での変化はより寒い季節ほど顕著になる。

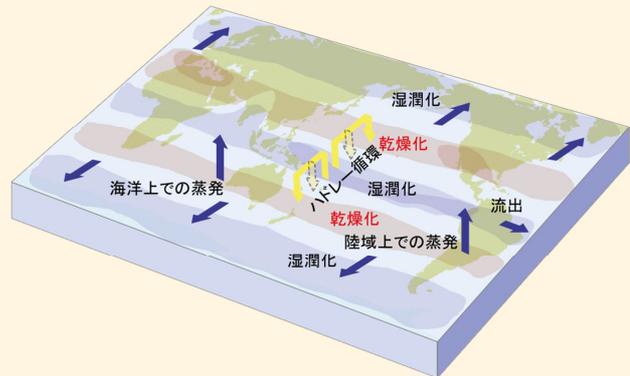
陸域が乾燥化するのか湿潤化するのかは降水量の変化による部分もあるが、地表面蒸発量と植物からの蒸散(合わせて蒸発散量という)の変化にも依存する。大気の温度が上昇するとより多くの水蒸気を含むことができるため、陸水が十分にあれば蒸発散量の増加を引き起こすこともあり得る。もっとも、大気中の二酸化炭素が増加すれば植物が大気中に水蒸気を発散させる傾向を抑制し、温暖化効果の一部を相殺する。

熱帯域では、蒸発散量の増加は土壌水分に対する降水量増加の効果を弱める傾向があるが、亜熱帯域では既に土壌水分量は少ないため、蒸発散量にほとんど変化が生じる余地はない。より高緯度域においては、予測されている気候では降水量の増加が蒸発散量の増加を全般に上回り、年間平均流出量の増加をもたらすが、土壌水分における変化は一樣ではない。FAQ 12.2 図 1 に示す循環の変化が示唆しているように、高湿潤地域と低湿潤地域の境界も移動するかもしれない。

さらに状況を複雑にする要因が、降雨特性である。モデル予測によれば、大気中に存在する水分が増えることもあり、降雨はいつそう激しくなる。例えば、本報告書で評価しているシミュレーションでは、陸域の大部分で、現在は平均すると 20 年に 1 度現れている強度の日降水量の現象が 21 世紀末までには 10 年に 1 度かそれ以上の頻度で現れる可能性が示されている。同時にまた予測では、降水現象全般に発生頻度が減る傾向にあることも示している。こうした変化は、一見矛盾する 2 つの効果を生み出す。すなわち、激しさを増す大雨は洪水の増加をもたらすが、降雨現象の間の乾燥期間が長くなり干ばつの増加をもたらす。

高緯度域及び標高の高い地域においては、凍結水の減少によってさらなる変化が現れる。そうした変化の中には今の世代の全球気候モデル(GCM)によって解像されているものもあるが、一般にモデルによって解像されていないか表現対象に含まれていない氷河のような特徴が関係するために、推測しかできないものもある。気候が温暖化するということは、秋季の積雪開始が遅くなり、春季の融解が早まる傾向を意味する。本報告書で評価しているシミュレーションは、北半球の 3 月から 4 月にかけての積雪面積が、温室効果ガスのシナリオによるが、今世紀末までに平均で約 10~30%減少することを予測している。春季の融解が早まると、雪解け水が流れ込む河川の春季流量が最大になるタイミングが変わる。その結果、後の流量が減少して、水資源管理に影響を与える可能性がある。こうした特徴は、全球気候モデルシミュレーションに示されている。

永久凍土が減少すると、水分はより地中深く浸み込むことが可能になるが、地面の温度上昇も可能になり、蒸発散を強めることにもなるだろう。しかし、現在の全球気候モデルのほとんどは永久凍土の変化を十分再現するために必要な過程の全ては含んでいない。土壌の凍結の解析や全球気候モデルの出力データを利用してより詳細な陸域モデルを駆動している研究は、今世紀末までに永久凍土がかなり減少することを示唆している。さらに、現在の全球気候モデルが氷河の変化を明示的には含んでいないとしても、氷河が後退し続けることと、氷河の消失に伴い夏季に氷河の融解により河川に供給される水の量も徐々に少なくなることは予想できる。氷河の減少は、春季の河川流量の減少にも寄与するだろう。とはいえ、雪であれ雨であれ、年平均降水量が増加する場合は、こうした結果が必ずしも年平均河川流量の減少を意味するわけではない。



**FAQ 12.2 図 1 |** 水循環の主要な構成要素に予測される変化の概略図。青の矢印は、地球の気候システムを通じた水の動きの変化の主な種類を示している。すなわち、温帯の風による極方向への水の輸送、表面からの蒸発、陸域から海洋への流出である。陰影をつけた地域は、乾燥化又は湿潤化が進む可能性の高い地域を表す。黄の矢印は、ハドレー循環による重要な大気循環の変化を表す。ハドレー循環の上昇運動は熱帯降雨を促進する一方で亜熱帯での降雨を抑制する。モデル予測によると、ハドレー循環は南北両半球において下降流を極方向に移動させ、関連した乾燥化を伴う。高緯度域では、大気の温暖化により、これらの地域へのより大きな水の動きがもたせられるとともに、より大きな降水が可能となるため、湿潤化することが予測されている。