

水
の
惑
星
の

第1回で紹介されたように、すでに世界では様々な水問題が起きています。

地球全体の水の量は14億 km^3 ですが、液体として存在する淡水は0.8% (1120万 km^3) に過ぎません。しかし、人間が利用する水の量は増え続けており、1995年時点での世界全体での使用量は年間3,600 km^3 (1950年の2.6倍) にのぼります。

その一方で、産業・農業・生活からの排水などによって水質が悪化しており、「安全に使用できる水」の減少を加速させています。2000年に行った世界保健機関 (WHO) と国連児童基金 (UNICEF) の調査によれば、11億人もの人々が安全な飲み水が利用できない状況に置かれています。

深刻なのは、この上に現在進行している地球温暖化 (気候変動) によって、水リスクがさらに高まることが予想されていることです。



第2回

水環境と気候変動

山本将 (CASA 理事)

尾形祥子 (CASA 事務局)

1. 気候変動が及ぼす水への影響

(1) 世界的な水への影響

① 雪氷の減少

平均気温の上昇が進むと、その影響はまず雪氷圏に現れます。北半球の陸域における積雪面積は、1980年代以降、平年並か少ない傾向が続いています。また、ヒマラヤやアラスカなどの山岳氷河の大幅な後退や、北極海沿岸などで永久凍土の融解、海水/淡水の結氷期間の短縮などが観測されています。

特に、北極では全球平均の約2倍の速度で気温上昇が起きており、北極圏の過去10年間の平均気温は過去50年の平均よりも2~3°C高くなっています。

北極の海水面積は急速に減少しており、過去30年で夏季の海水面積は約20%減少しています (図1)。2005年9月には観測

史上最小面積を更新しました。しかもこの年は、海水が冬季に例年水準まで回復しなかったため早くから減少が進み、過去最も遅い9月下旬まで継続しました。

1990年代の減少については、当時西風が強かったことから北極振動*1の影響も考えられていま

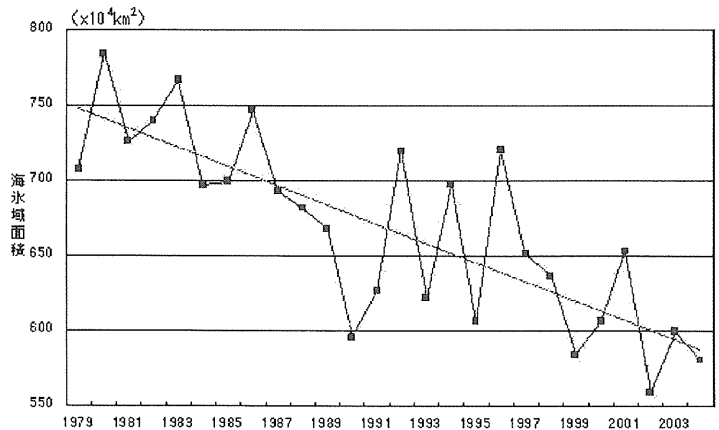


図1 北極域の解氷域の年最小面積 (夏季)

出典: 異常気象レポート2005、気象庁

*1 数年以上の周期で変動する北極の周囲を巡る西風の強さの変化のこと。北極の海水の増減には、北極振動が影響することが知られており、西風が強まると海水は減少する傾向がある。

たが、現在は西風がさほど強くなく、北極振動だけではここ数年の海水の減少を説明できず、地球温暖化の影響が疑われています。

このような海水の減少は、さらに加速するだろうと考えられます。というのも、海水は太陽光の反射率が高く温まりにくいのですが、海面は反射率が低く温まりやすいため、海水が減少し海面面積が広がると、北極圏に吸収される熱が増えて海水はますます減少するという悪循環が生じるからです。

また北極圏で大量の陸水を有するグリーンランドの氷床の融解速度が加速していることが、2006年2月にNASAとカンザス大学によって報告されました。水の損失量は、1996年に63km³だったのが2005年には162km³と倍以上になっています。これは、気温上昇が原因だと考えられています。

海水と違い、陸水の融解は海面上昇の原因となります。グリーンランドの水が解けると最大で7.2mの海面上昇が起きると予測されています(IPCC、2001)。また、海洋大循環*2はグリーンランド沖で冷たく塩分濃度の高い海水が深海に沈み込むことが駆動力となっているため、大量の淡水がこの海域に流れ込むと表層海水の塩分濃度が低くなり、深層水の形成や沈み込みを阻害して、大循環が停止する危険性が指摘されています。事実、約1万2千年前に、グリーンランドや北アメリカ氷床の融解が起り、暖流が北まで行かなくなってヨーロッパの急激な寒冷化を引き起こしたと考えられています。一度この大循環のメカニズムが破壊されるとその再生に数千年かかると考えられています。

北極圏の異変は生態系にも影響を及ぼしはじめています。国際自然保護連合(IUCN)は2006年版絶滅危惧種リスト「レッド・リスト」の約1万6000種に、新たにホッキョクグマを加えました。ホッキョクグマは気温上昇により生息地で

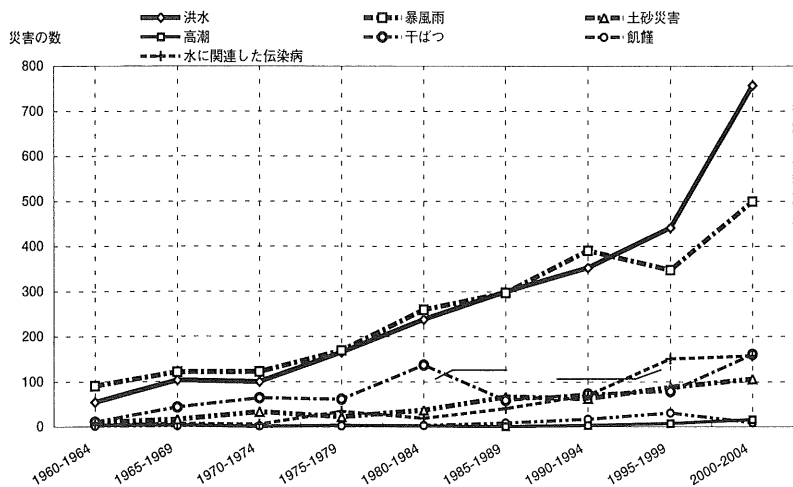


図2 自然災害のタイプ別発生件数

出典：Technical Report on Global Trends of Water-related Disasters Tarek Merabtene and Junichi Yoshitani ISSN 0386-5878, Technical Memorandum of PWRI, No. 3985 2005年10月

ある北極の氷原が減少し、今後45年間で30%減少すると予想されています。

②気象の極端化

地上付近の平均気温が上がると、河川や湖沼、海水や土壌などから水分の蒸発が促され、大気中の水分量が増えます。すると低気圧が通過する際に、より多くの水蒸気が集められ、降水量が増えると考えられています。これまでの研究成果によれば、温暖化に伴い、全球レベルでは年平均降水量が増加し、豪雨強度*3はさらに大きな割合で増加することがわかっています。一方、温暖化により大気の循環が変化して、低気圧の強さや通過する頻度などが変化し、それによって降水量が変化することも考えられます。

近年、洪水、暴風雨、土砂災害などの水災害の発生が増えています。特に洪水は、1992年からの10年間で、他の災害に比べて発生件数が急激に増えています(図2)。この10年間に世界で発生した自然災害は全体で2730件、死者53.5万人、被災者数は20億人にのぼります。そのうち、洪水・暴風雨・土砂災害といった水災害によるものが、発生件数の71%(1,929件)、死者数で31%(16.6万人)、被災者数で75%(15億人)と、大きな割合を占めています。このように世界各地で起こっている気象災害の原因が気候変動であるとは断定できませんが、関係があるのではないかと考えられています。

*2 詳しくはCASAレター46号 P.7を参照

*3 1日程度で起こる極端に強い降水量

(2) 日本の事例

気象庁が発表した「異常気象レポート2005」では、『日本における大雨の出現数の長期的な増加傾向』には、地球温暖化の影響があらわれている可能性がある」としています。「日降水量が100mmや200mm以上の大雨の出現数については、特に夏や秋を中心として、長期的な増加傾向がみられる」「一方で、月降水量では、異常少雨の出現数に長期的な増加傾向がある」としています。つまり、中間的な降水が減り、大雨が降るかほとんど降らないかの極端な降水パターンになりつつあるということです。これは温暖化シミュレーション結果と同じ傾向です。

①降水量の推移

全国平均の年降水量は、この約100年間では減少傾向にある一方、1960年代半ば頃から多雨の年と少雨の年の差が大きくなってきています(図3)。また地域差はあるものの、時間降水量50mmを超える大雨の発現回数はやや増加傾向が見られます。2004年は数多くの異常気象を記録した年で、7月には梅雨前線の停滞による新潟・福島豪雨や福井豪雨が発生、1時間降水量50mm以上(非常に激しい雨)、日降水量200mm、400mm以上の観測数が過去29年間で最多を記録しました。

そして今年もまた観測記録を更新するような降水量により、日本各地で大きな被害が出ています。

②台風

気候変動に伴って台風の強度が増すと予測されています。現時点では明らかな増加傾向は確認されていませんが、2004年には台風の上陸数の記録更新や、大型で強い台風の増加が観測されました。台風第18号では、多くの観測点で最低気圧や最大瞬間風速、最大風速の記録を更新、10月の台風23号では兵庫県豊岡市などに浸水被害が発生し、死者・行方不明者98人の大きな被害がでました。本土に接近した台風の内、「強い」台風の比率は82%に達しています。

米ジョージア工科大学のウェブスター教授(地球大気科学)らは、米科学誌サイエンスに、「1975年から2004年までの間、太平洋、大西洋、インド洋など世界各地で、強力な台風の発生比率がすべての海域で大幅にアップし、特に、日本が面する太平洋西部では、カテゴリ-4(最大瞬間風速約58メートル以上)以上の台風が、1975年から1989年までは全体の25%だったのが、1990年から2004年まででは全体の42%に達している」との研究結果を発表しています。

③降雪

降雪量は、北陸地方では減少傾向、北海道は増

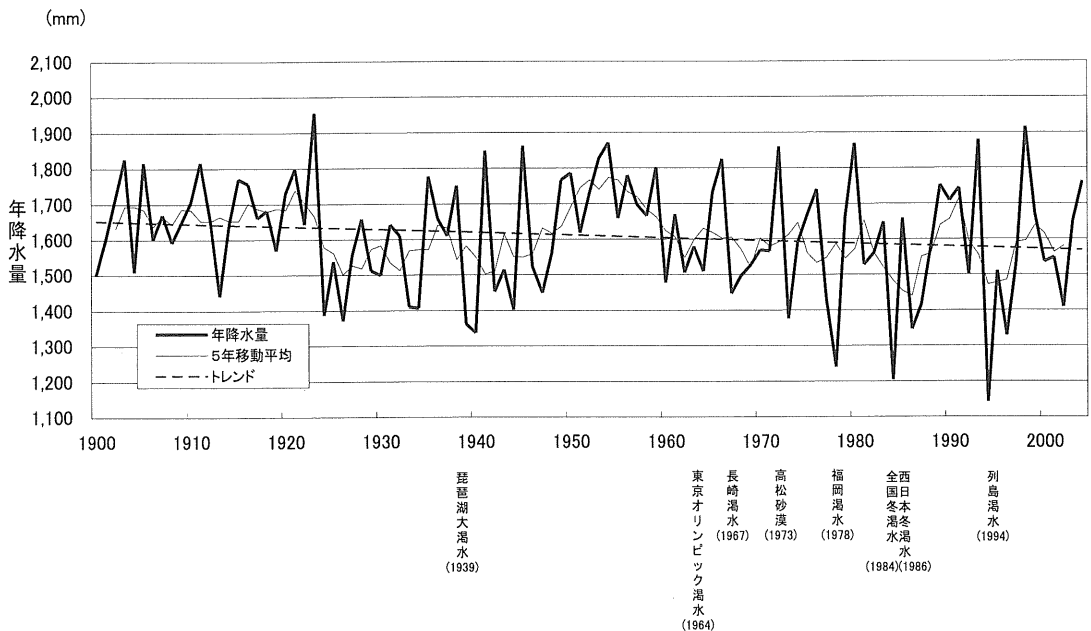


図3 日本の年降水量の経年変化
出典：平成17年版 日本の水資源、国土交通省

加傾向と、地域差があります。また、2004～2005年、2005～2006年の冬には、記録的な豪雪によって被害が多発しています。

④河川・湖沼の水温上昇

全国的に河川、湖沼の水温上昇も観測されています。この原因の特定はまだなされていません

が、例えば神奈川県平塚市などを流れる金目川では、鮎の遡上が阻害されるほどの水温上昇が確認されており、神奈川県環境科学センターは都市化や地球温暖化の影響ではないかとして原因を調査中です。また、琵琶湖研究所によれば、琵琶湖の湖底水温の上昇と溶存酸素濃度の低下によって、水質の悪化傾向が確認されています。

2. 温暖化は水環境にどのような影響を与えるか

(1) 土地の乾燥化、土壌劣化

①土地の乾燥化

気候変動により、地球全体での降水量の総和は増加すると考えられています。降水量の増加は水蒸気の量が増加することによるものですが、大気の循環が変化することにより、一部の地域では降水量が減少する可能性があります。また、降水量が増える地域でも、蒸発する量がそれ以上に増える場合には、河川の水量などは減少します。このような水のバランスの変化により、内陸部などでは、土地の乾燥化・砂漠化が進むと予想されています。もともと乾燥した地域において限界的な条件にある生態系や社会が、砂漠化・水不足による影響を受ける可能性が高くなります。

②土壌劣化

土壌劣化とは、土壌が流出したり、乾燥化したり、塩類が集積したりすることで、植物等が生育しにくい生産性の低い土地となってしまう現象です。土壌劣化の主な原因は、森林伐採などの土地開発による植生の破壊や、過剰な放牧、農業による土地の酷使、過剰な灌漑による塩類集積などの人為的活動です。

気候変動にともなう平均気温の上昇により、土壌中の微生物の活動が活発化し、有機物の分解が促されます。これにより、土壌が水分や養分を保持する能力が低下し、雨などで土壌が流出しやすくなることで、開墾地などの土壌劣化を促進する可能性があると考えられます。このように、土地の保水力が低下することで、地表温度の上昇ともあいまって、さらに乾燥地が広がっていくこととなります。

(2) 水資源への影響

①河川流量とその変動パターンの変化

気温上昇により、降水が河川に至るまでに蒸

発してしまう量が増える地域では、河川の流量が低下してしまいます。また、気候変動により降水パターンが変化します。さらに、そのゆらぎも大きくなると考えられていることから、降雨が少ない時期があったり、反対に短期間に多くの降水があったりと、極端化する傾向になります。このような変化によって、人間が淡水を利用することは、より困難になります。

さらに気温上昇により、生活用水、灌漑用水の需要が増え、河川等からの取水量が増えることで流量が減る可能性もあります。

②海水の侵入

沿岸地域においては、地下に海水がしみ込んでいますが、海面上昇により、しみ込む範囲が広がります。このように海水が侵入することで、沿岸部において地下水への海水の混入、農作物への塩害などの悪影響が出る可能性もあります。

③水質の悪化

気温上昇により、河川や湖沼の水温も上昇します。そのため、水中の酸素濃度が低下したり、植物プランクトンなどによる光合成が促進され富栄養化が進んだりするなど、河川・湖沼において水質汚濁が悪化する可能性があります。

また水温上昇により、微生物や、感染症を媒介する寄生虫等が、増加し活動範囲を広げることで、水に由来する感染症のリスクは大きくなると考えられます。

④水資源インフラへの影響

気候変動により、極端な気象や、洪水など災害が増えることで、ダムや上下水施設などのインフラが破壊されたり悪影響を受けるリスクが増加します。ダムなど利水施設が損傷すれば、水の利用はより困難になります。また、洪水などにより、上下水インフラが損傷することで、し尿・排水と

飲料水とが混ざり、衛生条件が悪化します。気温上昇も相まって、感染症のリスクが増加すると考えられます。特に、衛生・利水のインフラが脆弱あるいは十分整備されていない地域に、大きなリスクをもたらすことが予想されます。

⑤農業への悪影響

上記の土地の乾燥化、土壌劣化、水資源やインフラへの悪影響は、結果として、農業生産にも影響をもたらします。気候変動による、気候帯の移動や、病害虫の増加には、品種の転換などの一定の適応策が考えられていますが、水資源の悪化への対応には困難が予想されます。特に、開発途上国にとっては、貧困と人口・水需要増加のもとで現状でも困難を抱えている水資源開発の状況がさらに困難なものとなることが予想されます。またこのように気候変動により、耕作地の生産性を維持することはより困難になると考えられます。

一方、現在でも農業活動は、土地の酷使や環境への影響などにより生産性がこの向上が限界に近づく傾向にあります。

現在の世界のトレンドとして、人口が増加したり、肉の消費量が増加しています。これにより、飼料生産地・牧草地の需要が増えたりすることで、従来から生産性が小さく耕作にあまり適していない土地の利用や、森林伐採による開墾を促しています。結果として、灌漑による塩害や、化学肥料投入による地下水汚染が進むと考えられます。また気候変動ともあいまって土壌劣化を促すことも懸念されます。

(3) 閉鎖性水域・沿岸域の生態系への影響

①水温上昇による影響

水温が上昇することで、陸上の生物と同様、水生生物にとっても生息に適した領域が移動していくことになります。海洋生物は、水温の上昇に従って移動していくことも可能ですが、湖沼や内海などの閉鎖性水域では、生物は自由に移動できません。中でも、水温の上限近くで生息している生物種が絶滅のリスクにさらされることになります。

また、河川や湖沼の水の酸素濃度が低下することや植物プランクトンによる光合成が促進され富栄養化が促されることによる影響も考えられます。従来生物には暮らしにくい環境となり、このような環境に適した生物の構成に変化していくことになります。

②水量と変動パターンの変化による影響

河川・湖沼の水の量は、雨期や雪解けの時期に増加するなど、季節的な変動パターンがあります。気候変動により、河川・湖沼の水の量そのものや、季節的な変動パターンが変化することで、生物がその影響を受けます。多くの河川では、雪解け水が流れ込んでいますが、このような河川では、流量が最大になるのは春の雪解けの時期となっています。平均気温上昇にともない、雪解けが早まったり、降雪がすぐに流出したりするようになることで、水による流量のピークが春から冬に移行する傾向にあることは、現在でも各地で観測されています。

現在でも、人間がダムで流量を人為的に調整することで、自然の季節的な変化パターンが失われ、生物には暮らしにくい環境となっています。人間のコントロールが及んでいない自然の河川などが、今後は気候変動による圧力を受けることになります。

湖沼では、浅い所と深い所の水の混ざり方や栄養分の移動が、生物の構成や分布に影響しています。気候変動により、湖沼に流れ込む水の量やパターン変化することは、このような湖沼の上下方向の水や栄養分の動き、酸素濃度の分布を変化させます。また、気温が上昇することで、温度の高い水は膨張して密度が低くなり湖沼の浅い部分に溜まりがちになるので、浅い所の水と深い所の水が混ざりにくくなります。これは、特に深い所における酸素濃度の低下など水質悪化を促進します。結果として、水温上昇による直接的な影響に加えて、湖沼の生物の暮らし・構成・分布にも影響をもたらすことになります。

③沿岸域生態系への影響

沿岸域の生態系は、水環境の変化だけでなく、海面上昇によっても大きな影響を受けます。特に、河口部の淡水と海水が混ざり合う汽水域と呼ばれる領域には、多様な生物が生息し、水を浄化する能力にも優れていることが知られています。海面上昇は、海岸線を移動させ、従来の干潟などを水没させてしまいます。また、河口からより上流にさかのぼった領域まで海水が浸入します。このような急激な変化により、生き物の棲む領域が損なわれれば、汽水域や干潟などが持つ自然の浄化能力や、沿岸生態系が水産資源をもたらす人間を養う力も失われていくことになります。

3. 予測

表 世界と日本の水資源への影響予測 (上:世界、下:日本)

① 河川流量変化の予測

IPCC第3次評価報告によれば、河川流量が増える地域もある一方、中央アジア、地中海沿岸域、アフリカ南部では、河川流量が減少することがシミュレーションにより予想されています。

気温上昇	予測される影響
+1.0~1.7℃	・水温上昇による水質悪化 ・沿岸帯水層への塩水侵入 ・灌漑水需要が気候変化に応じて変化 ・より強い洪水減少により洪水被害の増加 ・干ばつ頻度の増加 ・降雪が水資源となっている流域では、河川ピーク流量が冬季にシフト
+1.2~3.2℃	・水温上昇により水質が悪化 ・水質変化は流量の変化によって変動 ・水需要の影響が拡大
+1.5~2.0℃	・水不足人口が、約6~20億人増加、特にアジア途上国で深刻
+1.5℃~	・水資源変動に脆弱な地域では水供給減少と水質の劣化、洪水と干ばつの増加
+2.0~	・水供給・需要と水質への影響が拡大

気温上昇	予測される影響
+1℃~	・河川水質の悪化 (BOD:1.01倍、SS:1.05倍、DO:-0.1g、pH:+0.014) ・浅い湖沼(霞ヶ浦) COD:0.8~2.0mg/l、透明度:9~17cmの低下
+3℃~	・上水道利用量は1.2~3.2%増加 ・気温上昇による流量減少と、10%の降水量増加による流量増加は、渇水時には相殺されるが、洪水の恐れは増大

資料:原沢英夫、「地球温暖化がもたらす危険なレベルに関する考察」、『環境研究』2005, No.138

② 世界の水資源への影響

気候変動による世界の水資源への影響についてのWBGU(ドイツ地球環境変動学術諮問委員会)、IPCCなどの機関による予測を、国立環境研究所の原沢英夫氏が整理したものを表に示します。気温上昇幅が1℃を超えると水質悪化、沿岸帯水層への塩水の浸入、洪水被害や干ばつの増加が、1.5℃を超えると水不足人口が大幅に増加するなど水の需給バランスに悪影響が出る可能性が示されています。

なお、水不足をもたらす要因としては、気候変動よりも、人口増加による直接的な水消費量の増加や、食料需要の増加にともなう農業用水の消費量の増加、工業化などにともなう工業用水の消費量の増加、水質の悪化など、社会的トレンドによる要因がより大きいと考えられています。気候変動により、このような水資源の脆弱性や需要増加のトレンドを持つ地域において、水不

足のリスクが大きくなると考えられます。

③ 日本水資源への影響

内閣府の総合科学技術会議による研究プロジェクト「地球温暖化研究イニシヤティブ」では、平均温度上昇の程度と、日本水資源への影響の関連を表のように整理しています。日本では、水供給へのリスクよりも、洪水による災害リスクの増加がより大きな問題となる可能性があります。

なお、このような研究では、日本水資源への直接的な影響が検討されていますが、一方で、日本は食料などの輸入を通じて間接的に海外の水資源に依存しているため、世界的な気候変動による水資源への影響を間接的に被ることも懸念されます。また、輸入元地域の水事情など、輸入による世界水資源への間接的影響に配慮したり、食料などの自給率を高めていくことなども求められます。

主な参考資料:

- ・気象庁「異常気象レポート2005」
- ・独立行政法人土木研究所「洪水等の水災害の現状と今後の見通し」2004年3月
- ・国土交通省「平成17年版 日本水資源」
- ・甲村謙友「水循環をめぐる課題と新たな取り組み」『環境研究』2005, No.137
- ・原沢英夫、「地球温暖化がもたらす危険なレベルに関する考察」、『環境研究』2005, No.138
- ・IPCC第3次評価報告書、2001年

予告

次回は「水の自由化(仮題)」です。お楽しみに。