

◆ 特集：水資源・水管理 ◆

地球温暖化と水資源

風間 聡*

1. はじめに

地球温暖化が水資源に与える影響を論じることは、「風吹けば桶屋がもうかる」に似ている。気温が上昇すれば蒸発散が増える。蒸発散が増えれば河川流量は減る。河川流量が減れば利水量は減る。これは本当だろうか？強風が吹けば必ず桶屋が儲かるという話は一見よく出来ているように見えるがその通りにはならない。ちなみに「風が吹けば桶屋がもうかる」の話は諸説あるが、もっとも知られている話が、「風が吹く→砂埃が舞う→盲人が増える→三味線の需要が増える→猫の皮が必要→鼠が増える→桶をかじる」である。これ以外にも「火事に備えるために桶が必要になった」、とか「強風による死者が増えるので桶の需要が増えた」等、幾つかの話が存在するが、全て桶屋がもうかる話になっている。様々な過程が存在しても結果が同じであれば高い確率で桶屋がもうかりそうであるが、ほとんどそうならない。これは個々の因果関係に不確実性が強く存在するからである。はじめの話では、必ずしも砂埃が舞うわけではないし、人は砂埃を避けるような行動をとるので盲人には簡単にならないからである。そうすると桶屋がもうかる確率は小さくなる。

温暖化と水資源の関係も同様である。個々の過程や因果関係は複雑で不確実性が高く、的中率を論じることも困難である。世界中で示される多くの予測には「仮定」が存在し、その「仮定」の正確性も不明である。

それでも、予測や影響評価をせずにはいられない。なぜなら投資や投機、政策といった博打は、ある程度の科学的根拠に基づいて行われるべきであるからである。しかし、「気温が上昇する」という根本の現象から離れれば離れるほど、その影響評価の誤差は増す。水資源問題の多くは、「気温が上昇する」から離れており、大きい不確実性

を持っている。自然や人間活動にはある程度の適応や緩和といった機能があるからである。

地球温暖化は気候変動の一部である。気温の上昇や低下の傾向は、自然な気候変動の中で起こりうることであり、数100年から数1000年の規模で変動する。問題なのは、人為的な作用によって温暖化が急速に進行することである。急速に進行すると、適応や緩和が追いつかず、甚大な災害が危惧される。つまり、温暖化の進行が早ければ早いほど、利水量の減少する確率は上昇する。

気温の上昇が直接的に水資源に影響を与える場合（直接的影響）と、温暖化がもたらした他の影響が伝播して水資源に影響を与える場合（間接的影響）とがある。いずれにせよ温暖化は水を介し

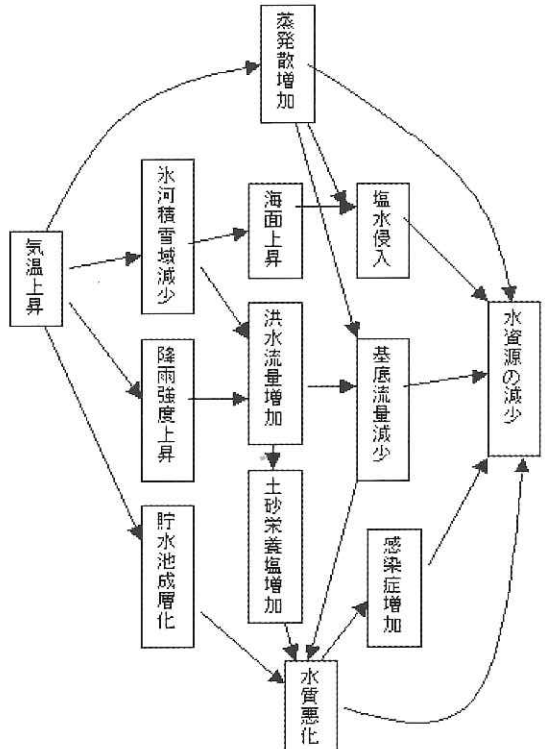


図-1 温暖化と水資源

て人と環境に広い範囲で影響を与える (図-1)。

本報告は、温暖化が水資源に与える影響についてまとめた。

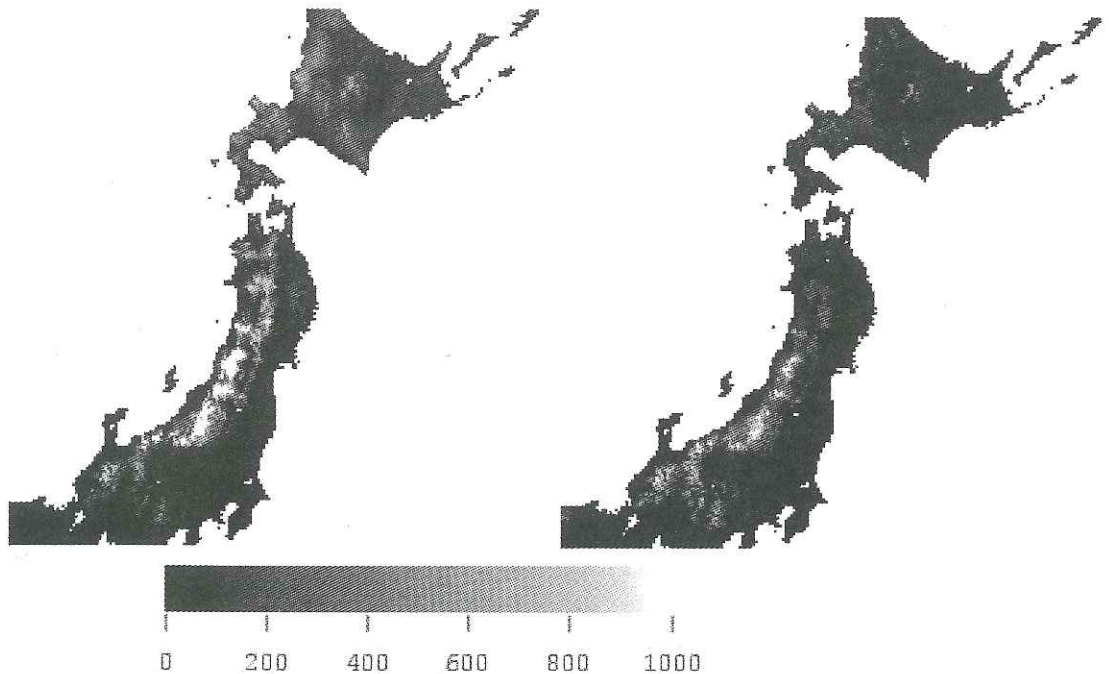
2. 直接的影響

積雪が温暖化によって減少することはもっとも直接的であるといえる。雪は白いダムとも呼ばれ、貯留効果が大きいため、地下水の涵養効果も手伝って水資源を長く利用できる。東北地方は春先に雨が少ないため、融雪水は代掻き期の貴重な水資源である。積雪貯留量が減少すれば湛水できる面積の減少は避けられない。温暖化が顕著になる以前にも小雪年に春先の貯水量を大きく減らすことはあり、ダム操作を困難にしていた。図-2は多雪年と小雪年の積雪の違いを分布図で示したものが、太平洋側の地域に大きな減少が見られる。この地域を水源にもつ水田域は大きな影響を受けることが予想される。

GCM (General Circular Model : 全球気候モデル) は、将来の気候の姿をわかりやすく示してくれる。将来の気候の様子は、炭酸ガスの放出量に依存するため、いくつかのシナリオに応じた計算

結果が示されている。これらのGCMを用いた計算結果では、関東から中部にかけて年間降水量は減少し、その他の地方ではほぼ変化がないと示した¹⁾。一方、年降水量の変化よりも日降水量の偏差の増加を示す計算結果もあり、洪水が懸念されている。温暖化によって日本の降水パターンは先鋭化されると言われる。地球シミュレータの計算によると夏季に短時間の降水量が増えることを示した²⁾。こうした降雨は熱帯型降雨やシャワータイプの降雨などと表現される。他の計算結果でも日本の年降水量は大きく変化しないことを示している一方、熱帯型降雨や台風は増えると予想されている。こうした降雨によって都市化が進行した地域や急峻な地域は、より激しい洪水を経験することとなる。既設の治水施設では対応できないことが危惧されると同時に、新たな対策費用が必要になると考えられる。

降雨強度の先鋭化は渇水も懸念させる。貯留施設が設置されていない河川では、気温の上昇による蒸発散の増加が低水流量の減少を助長させる。気温が上昇すると水使用量も増える⁴⁾。低水流量の減少は、利水確保を困難にし、生態系への影響



(a)2000年2月 (多雪年)

(b)1990年2月 (小雪年)

図-2 小雪年と多雪年の積雪水当量分析図 (単位mm)

表-1 西アメリカ沿岸とベンガル湾岸の地下水資源損失比較

	地域	
	西アメリカ沿岸	ベンガル湾岸
海面上昇	2.0mm/年	0.9mm/年
温暖化による帯水層の淡水資源損失割合	1%-9%	1%-3%
地下水利用	460l/人/日	40l/人/日
影響を受ける人口	62人-300人/km ²	680人-2000人/km ²

も大きくなる。

温暖化の進行によって世界の水ストレス下におかれる人口が増加するため、貯水池やダムの有効性が改めて示されている⁵⁾。激しい降雨は土砂災害の危険性を増加させると同時に土砂生産、侵食をもたらす⁶⁾。加えて河川流量の増大は掃流力を指数関数的に増加させるため、貯水池の堆砂速度が増加し、貯水池容量を減少させる。温暖化はダムの役割が増すが、その機能の維持に問題が起こる。

3. 間接的影響

「風が吹けば」「桶屋が儲かる」より「三味線が売れる」ことの方が確実性は大きい。原因から離れば離れるほどその的中する確率は低くなることは述べた。しかし、想定される水資源問題は広く深刻であり、無視することはできない。

温暖化は、河川流量を減少させると同時に水温の上昇を引き起こす。多くの魚類は一般に水温30度を越えると生存が困難とされており、内水水産資源の損失も大きいものとなる⁷⁾。加えて溶存酸素の低下も拍車がかかり、生態系に与える影響は甚大となる。

河川流量だけでなく、貯水池の水質悪化も懸念される。土砂流出と栄養塩流出は高い相関がある。そのため、貯水容量の減少と富栄養化が同時進行する。富栄養化と高温による藻類や藍藻類の異常発生は、水源水質と水道水質の悪化をもたらす。また、水温成層の勾配は大きくなり、貯水池の循環する機会が少なくなる。これに伴い表層はさらに高温になり、溶存酸素が減る。また、底層では嫌気性状態が継続し、水質悪化が進行する。

水温の上昇は感染症へのリスクも増やす。夏季に見られる代表的な細菌 (O-157) や病原性原虫 (クリプトスポリジウム) 等の発生期間の拡大に

よって感染リスクは増加する⁸⁾。これらの水質改善のための高度処理費用は増加すると考えられる。

温暖化による海面上昇は確実視されている。しかし、それが水資源に与える影響についてはあまり多くの調査が行われていない。海面上昇の影響は、沿岸域の防災や海岸浸食の注意が大きく、塩水侵入については広く議論されていない。しかし、河川や地下水への塩水侵入は沿岸水資源を大きく損失させる。沖積平野は都市や耕作地として広く利用されており、地下水に依存している地域も多い。こうした地域は、人口増と海面上昇と相まって水資源の損失が大きくなる (表-1)。この傾向は、先進国の方が顕著である。将来の水資源を考えるには温暖化だけではなく、人口増加や土地利用の改変等、様々な要因を考慮する必要がある⁹⁾。

4. 適応策について

「桶屋がもうかる」よりも「砂埃が舞う」ことのほうが生起する確率が高い。もし、「桶屋がもうかる」のを阻止しようとするれば、その原因を止めることが肝要である。温暖化による水資源の影響を軽減させるには、温暖化を進行させないことが一番有効であることはいままでもないが、直接的影響を軽減させることが次善の策である。つまり、「砂埃が舞わない」ようにすることが効果的である。

気候変動に対する対応策は、大きく防御、緩和、退避の3つに分類される。洪水を例にすると、堤防で封じ込めるのが防御、遊水地や輪中によって共存を目指すのが緩和であり、浸水域を放棄するのが退避となる。

洪水や濁水から防御しようとする貯水池や堤防などの施設が必要となる。水処理や水質改善の施設も必要となる。こうした施設は、温暖化の影響を小さくすることが可能である。過去、日本に

においてはもっとも成功してきた政策と言える。一方、さらに大きな防御施設は、コストがかかり、周辺環境に与える影響も危惧される。

緩和政策は、欧米で積極的に取り入れられ、日本でも近年注目されている。代表的な例が遊水地や氾濫域の設置である。下流に対する洪水緩和や地下水涵養などで効果がある。しかし、日本の地形や気象条件を考えると容易ではない。退避も同様である。

温暖化への対応策は、コストと便益の比 (B/C) が重要である。B/Cは個々の事業や現象について論じられることが多く、世界全域で俯瞰的に眺める必要が問われている。同時に温暖化に対する適応策はB/Cや住民意思を考慮し、地域性に応じたものが求められる¹⁰⁾。

水資源利用の効率化と技術の発展が水需要を支えるという理論もある。そのために適正な水の価格の設定が必要であり、それを市場原理に任せるべきという意見もある¹¹⁾。こうした主張は、パロウらの水コモンズの意見¹²⁾に反するものであるが、両者とも水の無駄使いを改める主張は同じである。適応策に関する研究は、最近になって注目されており、事例研究や政策研究が海外で活発に行われている。一方、国内では緒についたばかりであり、今後の成果に期待される。

5. おわりに

温暖化ガスの排出制限を京都議定書の狙い通りに行うことはしばらくなく、温暖化は進行する気配を見せている。人為的であれ、自然的であれ、気候変動は生じる。これらは必ず人間活動に影響を与える。

将来に保険をかけようと思うことは誰もが考えることであるが、現状のまま大丈夫(満足)なのか、危険(不満)なのかの議論が必要であろう。「ものごとは改善しているが、十分によくない」の主張¹¹⁾は、楽観的かもしれないが興味深い。「桶屋がもうかる」かどうか、不確実性については現在、活発な研究が行われている。100年後の予測の不確実性は大きいですが、それでも毎年毎年情報が学習となり、予測的中率は改善しつつある。その結果を見ながら有効な適応策を講じることは可能である。

より正確な備えが出来るためにも、より正確と

思われる科学的調査が今後も必要である。

参考文献

- 1) 寺川 陽：気象・水文モデルの利用による日本域の水文循環への影響把握に関する研究、土木研究所研究成果報告書、B-11, 304-314, 1995.
- 2) 住 明正、木本昌秀、江守正多、野沢 徹：地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了、環境省ホームページ、<http://www.env.go.jp/earth/earthsimulator/>, 2004.
- 3) 原沢英夫、西岡秀三：地球温暖化と日本、古今書院, 2003.
- 4) 国土庁：水資源白書第2章, 2000.
- 5) 花崎直太、鼎信次郎、沖 大幹：貯水池操作が全球の河川流量に与える影響の評価、水工学論文集, 48, 463-468, 2004.
- 6) Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, Prediction rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, Agricultural Handbook, 537, USDA, 1978.
- 7) 近藤純正、菅原広史、高橋雅人、谷井迪郎：河川水温の日変化、観測による検証—異常昇温と魚の大量死事件—、水文・水資源学会誌, 8 (2), 197-209, 1995.
- 8) 脇岡靖明、高橋 潔、松岡 譲、原沢英夫：地球温暖化による水系感染症への影響、水環境学会誌, 25 (11), 647-652, 2002.
- 9) Priyantha, S. R., S. Kazama, and M. Sawamoto, Effects of sea level rise on the loss of fresh groundwater resources, Annual Journal of Hydraulic Engineering, 49, 97-102, 2005.
- 10) OECD、環境省地球環境局訳：世界環境白書、中央経済社, 2002.
- 11) Lomborg, B., 山形浩生訳：環境危機をあおってはいけない、文藝春秋社, 2003.
- 12) Barlow, M. and T. Clarke, 鈴木主悦訳：水戦争の世紀、集英社, 2003.

風間 聡*



東北大学大学院環境科学研究科、助教授、工博
So KAZAMA