

## 〈特集〉

# 総論：地球温暖化に備え、世界に貢献するコンソーシアムを目指して

田中宏明

京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター 教授  
(〒520-0811 滋賀県大津市由美浜 1-2 E-mail: htanaka@biwa.eqc.kyoto-u.ac.jp)

原稿受付 2010.4.19

EICA: 15(1) 2-6

## 1. 地球温暖化の状況

2007年に出された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書<sup>1)</sup>は、「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い」と述べている。現在進行している地球温暖化の状況については、世界の年平均地上気温の平年差で長期的には100年当たり0.74℃の割合で上昇し、平均海面水位は17cm上昇したと指摘している。世界各地で、ハリケーンやサイクロン、集中豪雨や干ばつ、熱波等の異常気象による災害が頻繁に発生しており、また、世界中の様々な地域で、気候の変動が原因とされる生態系の異変が報告されているが、地球温暖化が進行すれば、これらの悪影響がさらに強まることが、指摘されている。

IPCCは、気候システムに温暖化が起こっていると断定するとともに、20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高いとしている。また、IPCCは、世界全体の経済成長や人口、技術開発、経済・エネルギー構造等の動向について複数のシナリオに基づく将来予測を行っており、1980年から1999年までに比べ、21世紀末(2090年～2099年)の平均気温上昇は、環境の保全と経済の発展が地球規模で両立する社会では、約1.8(1.1～2.9℃)とする一方、高度経済成長が続く中で化石エネルギー源を重視した社会では約4.0(2.4～6.4)℃と予測している。

## 2. 水環境への影響

IPCCによると、大気中の二酸化炭素濃度の上昇に伴い既に海面が平均でpH 0.1程度酸性化し、21世紀中に更にpHで0.14～0.35の酸性化が進行すると予測されている。また、気温の上昇は、水を取り巻く環境

に対しても影響を与えているとも考えられており、多くの地域において、1900年から2005年にかけての降水量には長期変化傾向が観測され、降水量がかなり増加した地域や厳しい干ばつに見舞われる地域が拡大している。また、湖沼や河川等では、水温上昇が原因となる水温分布の変化や水質の悪化が生じている。地球温暖化による将来の影響に関する現在の知見としては、干ばつの影響を受ける地域の面積が増加する可能性が高いこと、強い降雨現象の頻度が増す可能性が非常に高く、洪水リスクが増加すること、海面上昇によって沿岸地下水が塩水化すること等、今後全地球的に地域ごとの水資源の存在形態が大きく変わることが予測されている。

また、環境省<sup>2)</sup>は、我が国にとっても将来的には大雨や渇水による河川水質の悪化、水温上昇による蒸発量の増大や湖沼・貯水池の全循環不全と、それらに伴い湖沼・貯水池の水質が悪化し、生態系等に影響を及ぼすことが予測されているとしている。また、既に、河川や海域の水温上昇による水質への影響が見られ、多摩川への熱帯魚の侵入等の事例も見られている。このため、今後、地球温暖化の進行に伴い変動した気候においても、現在の水環境を維持・改善していくため、気候変動が公共用水域の水質、水量及び生態系に与える影響を的確に把握し、それらの諸データを蓄積するとともに、将来の気候変動に伴う水環境の変化の予測を行い、想定される影響への適応策について検討する必要があると指摘されている(図1)。

## 3. 温室効果ガスの排出削減と気候変動に備える環境インフラ

環境省<sup>3)</sup>によると日本の2007年度の温室効果ガス総排出量は、二酸化炭素換算で13億7,400万トンで、京都議定書の基準年(1990年度)の総排出量と比べ、9.0%上回っている。温室効果ガスごとにみると、2007年度の二酸化炭素排出量は13億400万トン、メタン

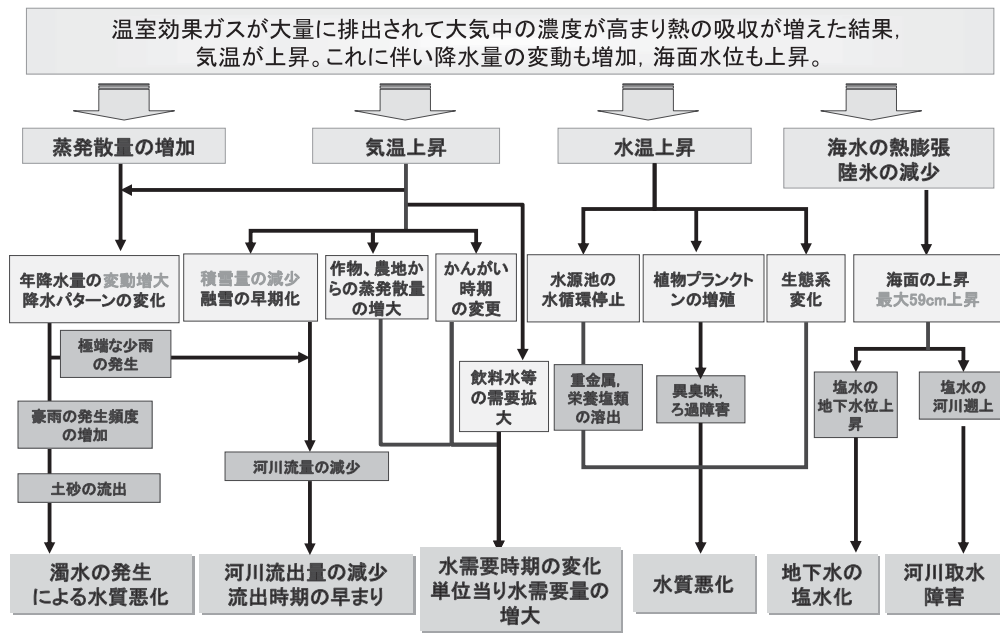


図1 気候変動による影響 (地球温暖化が水資源に与える影響)<sup>3)</sup>

排出量は2,260万トン、一酸化二窒素排出量は2,380万トンで、このほかHFCs排出量が1,320万トン、PFCsは650万トン、SF6は440万トンとされる。産業部門に加え、運輸部門、業務や家庭部門からも、多量の温室効果ガスが排出されており、総合的な削減が必要となっている。

### 3.1 水道事業

厚生労働省<sup>5)</sup>によると、水道事業は、公益的サービスの提供者としての側面に加え、全国の電力の0.9%を消費しているエネルギー消費(CO<sub>2</sub>排出)産業の側面を有しており、主体的かつ積極的な貢献が求められているとしている。厚生労働省は、水道事業について、省エネルギー・高効率機器の導入、ポンプのインバータ制御化等の省エネルギー対策や、小水力発電、太陽光発電等の再生可能エネルギー対策の実施を推進していくことを位置付けている。また厚生労働省では、平成21年7月に「水道事業における環境対策の手引書」を改訂し、水道事業者が策定した地域水道ビジョンにおける環境・エネルギー対策の実現方策を具体化していくための検討手順等を示し、水道事業者に対して、環境・エネルギー対策の推進に関する意識の向上と環境計画の策定、進行管理が促されている。

気候変動が進みことで、水文パターンの変化から貯水池等の運営強化がハード、ソフトとともに必要となり、また水道原水の変化や変動に備えた浄水施設の対応、さらに水温上昇に伴う給配水を含めた水道水の水質管理の高度化が必要となる。

### 3.2 下水道事業

国土交通省は、下水道事業は地方公共団体の事業の中でも多量の温室効果ガスを排出することから、エネルギー消費量の低減、バイオガスなどの未利用エネルギーの活用等に率先して取り組む必要があるとしている。下水道分野は、我が国の温室効果ガス排出量の約0.5% (2004年度) を占め、1990年から2004年にかけて約54%増加している<sup>6)</sup>。下水道事業は温室効果ガス削減という視点から、新技術の実用化や省エネ機器の導入、下水汚泥燃料化など温室効果ガス削減の取り組みが多様化し、省エネルギー対策、未利用エネルギーの活用、焼却炉における燃焼の高度化により温室効果ガスの排出削減に努める地球温暖化防止対策が必要である。このため、2009年は下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引きが国土交通省から出されている<sup>7)</sup>。また同時に下水道事業は、下水道に集められる熱、バイオマス、リン等の資源を活用し、下水道事業以外の排出者の温室効果ガス削減にも貢献できるため、より積極的な防止対策に積極的に推進していく必要もある。

気候変動が進むことで、水文パターンの変化から雨水排除機能の強化がハード、ソフトとともに必要となり、また合流式下水道の越流対策など雨天時の質的管理も高度化が必要である。さらに都市の水資源確保を強化するため、再生水や雨水利用が必要となる<sup>8)</sup>。

### 3.3 廃棄物事業

環境省<sup>4)</sup>は、廃棄物の焼却による二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素の発生、有機性廃棄物の埋め立て処分場でのメタン発生など焼却及び埋立てに伴い排出さ

れる温室効果ガス排出量は年間約 4,500 万トン（二酸化炭素換算）と、わが国の温室効果ガス総排出量の 3.3% に相当する他、廃棄物の収集運搬においては、化石燃料の利用に伴う二酸化炭素が排出されており、廃棄物の排出量を減らすことは、温室効果ガスと処理コストの削減につながるとしている。また、世界的に廃棄物問題の深刻化とともに、資源の安定供給に対する懸念が強まっている状況では、天然資源の効率的利用、資源の循環利用、再生可能資源の利用促進等としての将来展望が望まれ、食品廃棄物、農業・畜産廃棄物、下水汚泥などのバイオマスは、カーボンニュートラルな新エネルギーとしても、地球温暖化対策に大きく貢献するとしている。このような従来の都市系廃棄物を超えた取り組みが期待されている。

#### 4. 地球規模で深刻化する環境問題への国際貢献

水は、人間の生命の維持、食料生産や経済活動に不可欠なものであり、国連のミレニアム開発目標においては、「2015 年までに、安全な飲料水と基本的な衛生施設を継続的に利用できない人々の割合を半減する」との目標が設定されている。しかしながら、近年、世界で安全な飲料水を継続して利用できない人口は、8 億 8,400 万人、基礎的な衛生施設を継続して利用できない人口は、25 億 3,300 万人存在するなど、途上国における人口増加や地球温暖化等により地球規模で飲料水や衛生施設の確保といった水問題が深刻化している。国土交通省<sup>3)</sup>や環境省<sup>2,4)</sup>は、我が国は、食料の輸入等を通じて膨大な水を世界に依存しており、世界の水問題は日本国民の生命や食料の安全保障に直結する問題であるとしている。

水は、農業・食糧、生態系・生物多様性、資源・エネルギー、保健衛生とも密接に関連していることから、地球温暖化に伴う水循環の変化は、直接的にも間接的にも地球規模の全人类的な問題の原因となる。人口の増減や都市への人口集中、ライフスタイルの変化等に起因する世界的な水問題の激化を地球温暖化がさらに加速させ、先進国・途上国を問わず経済成長の鈍化、食糧危機、水を巡る紛争等人類の安全保障とも直結する問題を引き起こす可能性にも繋がる。

また、都市化に伴い多量に破棄される廃棄物も、開発途上国でも大きな問題となっている。多くは、不適切な廃棄物のダンプや埋め立て、野焼きが行われ、住民の悪臭、不衛生、呼吸器疾患などの健康被害、水質や土壌汚染、大気汚染に加え、メタンなどの温室効果ガスの温床となる等、次第に大きな問題となっている。廃棄物の適正処理技術とともに資源の回収や廃棄物発生抑制の対応など総合的な支援が必要である。

地球温暖化の原因物質とされる温室効果ガス排出に対して最も厳しい緩和努力を行っても、今後数十年間は気候変動のさらなる影響を回避することは難しく、IPCC 第 4 次評価報告書でも警告されているように、短期的な影響に対して何らかの適応策を講じることが特に必要不可欠である。このような気候変動に伴う水環境の変化により生じる水問題に対しては、精度の高い水循環予測に基づく中長期の水の需給バランスを考慮した利用・管理計画を地域レベルで立てることが重要であるとともに、水問題の緩和や適応に資する技術の開発とそれら技術の社会への効果的な適応が必要である。

排水処理技術や節水技術、廃棄物や汚泥処理技術などの日本の優れた環境技術について、それぞれの国や地域に適した技術開発の支援を行い、ビジネス機会を拡大していくことも重要である。

#### 5. 都市代謝系としてのアプローチ

エネルギー供給の多様性を増し、エネルギー保障を高めるため、エネルギーの有効活用を図り、持続可能な社会作りを目指すことが国家戦略となっている。さらに地球温暖化防止は、国際的に最重要問題となり、温室効果ガス削減にわが国がコミットすることとなった今、低炭素社会構築に向けて省エネルギーと有効利用に加え、未利用エネルギー活用が一層必要とされている。上下水道と廃棄物にかかわる事業は都市を中心とした水、物質の代謝系をコントロールしている。集められた水は水資源、それに含まれる物質や熱としての利用価値についても注目されている。特に都市内に張り巡らした下水道の管渠ネットワークは、排水系としての視点だけではなく、水とエネルギーの供給ネットワークとしても重要な役割を持つことが期待される。上下水道や廃棄物系は、この「集める」という大きなネットワーク資産をスマートに使う時代が来ている。

環境問題に極めて積極的な北欧、スウェーデンでは、地球温暖化、資源サイクルのシテンから都市の構造や交通・代謝系の再構築が始まっている。例えば、ストックホルムの中心地の近い、Hammarby Sjöstad 地区は、温室効果ガスを半減する街として計画、建設され、現在 23000 人が生活している（図 2）。この地区では、水道の浄水施設、下水処理場はコンパクトに街の中に作られ、水の浄化、熱の回収とリサイクル、栄養塩の回収利用が体系的に行われている<sup>9)</sup>。廃棄物についても可燃物回収は当然であるが、分別できる真空輸送が導入され、エネルギー節約が図られている。また下水汚泥や食品廃棄物からは、嫌気性消化によるバイオガス生産と農地への肥料供給が行われている。この肥料によって農地で作られたバイオマスをもとにバ



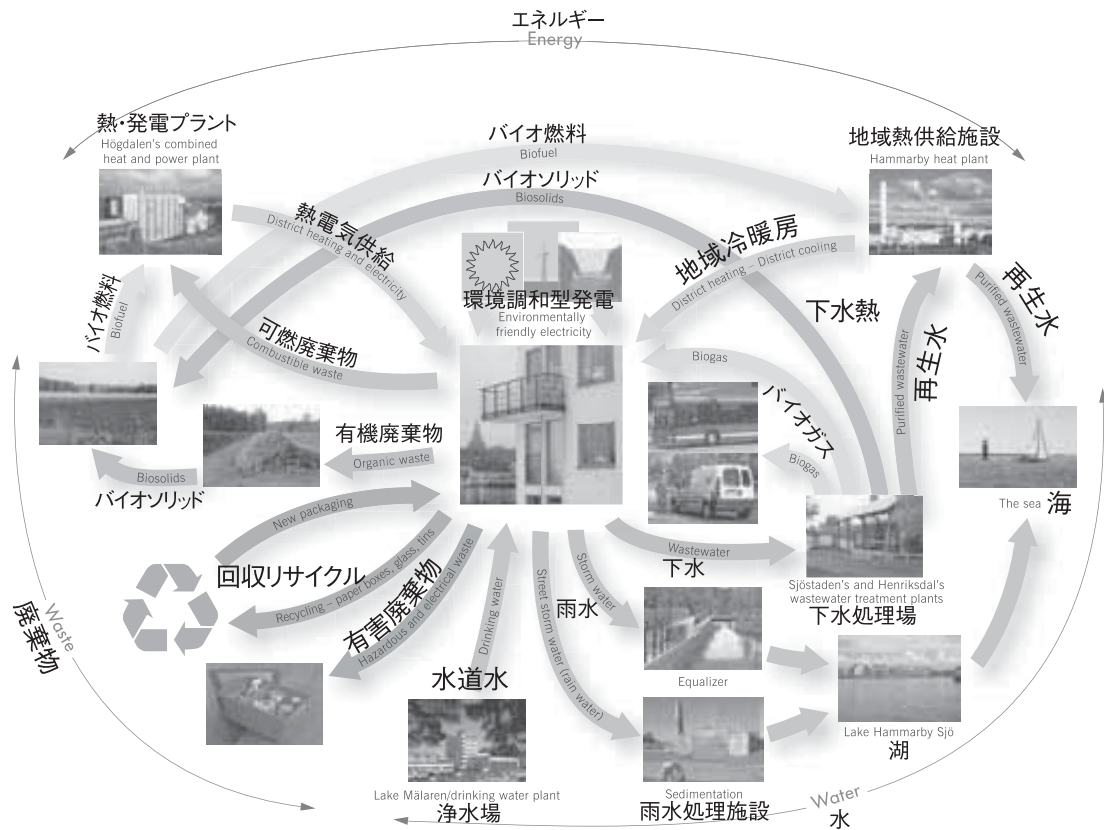


図2 ストックホルム市の Hammarby Sjöstad 地区の都市代謝系<sup>9)</sup>

バイオ燃料が作られ、これが地域冷暖房システムの燃料として供給されるとともに、コジェネレーション技術を使ってエネルギー回収が進められ、下水処理水からの熱回収もヒートポンプで行われている。このため、冷暖房に関わるエネルギーと化石燃料の大幅な節減が図られている。

水道原水も地区に隣接する湖から取水され、水輸送に関わるエネルギーも節約されている。嫌気性消化で発生するバイオガスは、公共交通機関や自動車に燃料供給されている他、直接都市ガスの原料として供給され、家庭での燃料となっている。

住居や業務ビルは全て、太陽熱利用と太陽熱発電が行われ、冷蔵庫、洗濯機、皿洗い機などの電気製品も、最初から大幅な省エネ、省水利用型の設備が据え付けられている。この結果、水利用は一人一日 120 L までに節水されている。この地区では、環境対策のため、雨水処理が行われるとともに、防火や修景利用への雨水利用されているが、もし下水処理水の再利用が行われれば、さらに環境負荷を下げることに貢献できるかもしれない。

このような取り組みは我が国でも部分的にはいくつかの都市で行われているものであるが、都市の環境負荷を半分にするというコンセプトをもとに水、廃棄物、エネルギー供給、交通、住宅都市開発を一体的に実行した点が異なっている。ストックホルム市のような強

いイニシャチブのもとで、都市そのものを、環境負荷削減型に改造させる時代が来たといえる。

## 6. 今後の EICA の役割の重要性と期待

地球温暖化と状況と将来の影響の予測と評価、温暖化防止の対策と適応策の視点から概説した。気候変動の観測・予測・影響評価への取り組みと将来展望について考えるためには、気候変動を正確に監視し、高度な予測を行い、より適切な影響評価と適応策の立案が重要である。このための、モニタリング、センシング技術、モデルによる予測と対策による効果が重要である。また地球温暖化防止策として、温室効果ガスの削減技術、EICA が最もこれまで得意としてきた計測制御技術を利用した合理的、効率の統合管理システムの推進に加え、都市を中心とした環境インフラは、不可避な事実となりつつある気候変動への適応策もハードの投資の限界性からソフトでの対応をも組み合わせることも必要となる。

当学会 EICA が基盤とする上・下水道事業、廃棄物事業においては、より複雑化したシステムにおける運転管理の高度化への対応とともに、エネルギー使用量の大きな事業分野として、今後、低炭素社会の構築を目指して資源の有効利用、温室効果ガスの削減、省エネルギーの促進や未利用エネルギーの活用への取

り組みが事業運営の上でも大きな課題になるため、EICA は、国内外でこれまで以上に大きく貢献することが期待されている。

#### 参考文献

- 1) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm)
- 2) 環境省：今後の水環境の在り方について（中間報告）(2009)  
<http://www.env.go.jp/water/confs/fpwq/torimatome/02.pdf>
- 3) 国土交通省：平成 21 年度 日本の水資源（2009）  
<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/hakusyo/H21/index.html>
- 4) 環境省：環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書 21 年版（2009）  
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h21/pdf.html>
- 5) 厚生労働省：水道事業における環境対策の手引書（改訂版）（2009）  
<http://www.mhlw.go.jp/za/0723/c02/c02-02.html>
- 6) 国土交通省：平成 20 年下水道白書，日本の下水道——循環のみちを拓く展望——，（社）日本下水道協会（2008）
- 7) 国土交通省：下水道における温暖化防止推進の手引き（2009）  
<http://www.mlit.go.jp/common/000036176.pdf>
- 8) 田中宏明：気候変動に備える新たな水資源，水環境学会誌，Vol. 31, No. 3, p. 119（2008）
- 9) 田中宏明：21世紀都市代謝系としての下水道への期待，新都市，Vol. 63, No. 9, pp. 16-23（2009）