

環境工学委員会 将来ビジョン

平成 27 年 3 月 20 日

土木学会 環境工学委員会

環境工学委員会将来ビジョンの公表にあたって

平成 26 年(2014 年)には土木学会が 100 周年を迎え、「土木学会創立 100 周年宣言」と「社会と土木の 100 年ビジョン-あらゆる境界をひらき、持続可能な社会の礎を築く-」を公表した。また、環境工学委員会は平成 25 年(2013 年)に 50 周年を迎えている。これらの背景のもとで、環境工学が現在直面している課題を整理したうえで、これからの 50 年間を見据えた環境工学委員会の指針とすべく、平成 26 年度環境工学委員会は「将来ビジョン」を策定することとした。

平成 25 年度から 26 年度の環境工学委員会では、平成 25 年度の終わりから幹事会を中心に将来ビジョンについての検討を開始し、平成 26 年 3 月 14 日の公開ワークショップ、平成 26 年度土木学会全国大会(大阪大学)における研究討論会(9 月 12 日)、平成 26 年度第 51 回環境工学研究フォーラム(山梨大学)における特別企画セッション(12 月 21 日)などを通じて各方面からのご意見をいただき、議論を深めてきた。その成果を本稿にまとめている。

人類をめぐる大きな課題の中で土木工学・環境工学に強く関わる課題には、環境配慮型で持続可能な社会の構築といった長期的な要請と、経済の確実な発展、財政・雇用の安定などの短期的な要請をどうバランスさせるかといった古くて新しい課題に加えて、拡大・発展を前提に構築してきた都市の構造やインフラを人口縮小社会に向けてどう再構築するか、激甚災害のリスクと向き合う中で緊急時の対応と平常時の利用をどのように関連づけてインフラを構築するか、物理的・土木的な対応が先行しがちな中で人間の幸せや心の健康をとといった問題をどのように配慮するか、などが挙げられる。いずれも、相対する価値観を具体的なインフラの設計や運用にどう反映させるのかという、ある意味で重い課題を突きつけられている。これらの課題に直接に答えることは環境工学委員会だけではできないが、少なくとも、将来目指すべき方向性について環境工学委員会として議論してきた結果を反映させている。

この将来ビジョンが、環境工学委員会の今後の活動において重視すべき具体的アクションを示すとともに、持続可能な社会の構築にむけた様々なジレンマの克服に、土木学会を挙げて取り組むための一助となることを願っている。

平成 27 年 3 月 20 日

土木学会環境工学委員会
委員長 味埜 俊

目 次

1.	はじめに	1
2.	環境問題の歴史と将来の課題の変化	2
2. 1	20 世紀までの世界の環境問題の特徴	
2. 2	世界人口の増加と都市化の進行	
	(1) 世界の人口変化	
	(2) 日本の人口変化	
	(3) 都市環境の変化	
2. 3	エネルギー消費量の増大と環境問題（資源の枯渇）	
2. 4	経済社会のグローバル化がもたらす影響	
2. 5	気候変動	
	(1) 気候変動をめぐる世界の動き	
	(2) 気候変動への日本の対応	
2. 6	自然災害	
2. 7	生態系のかく乱と保護	
	(1) 生態系保護に関する世界の動き	
	(2) 生態系保護に関する日本の取組み	
2. 8	ミレニアム開発目標	
2. 9	環境に関する国際的な条約・枠組み	
2. 10	環境問題の変化： 国際的な動向を考えて、我々は何をなすべきか？	
3.	環境工学委員会の将来ビジョン	17
3. 1	環境工学が取り組むべき新しい課題	
	(1) 我が国の科学技術基本政策と環境研究	
	(2) 環境工学を取り巻く課題の変化と新しい観点	
	(3) 低炭素・循環型社会の構築	
	(4) 環境関連インフラの老朽化と更新対策	
	(5) 水循環基本法	
3. 2	環境工学委員会の将来ビジョン	
	(1) 環境工学委員会の将来ビジョン	
	(2) 将来ビジョン実現のための環境工学委員会の取組み	
4.	分野別の課題と将来の取組	21

- 4. 1 水道
- 4. 2 流域管理・下水道
- 4. 3 消毒技術と下水処理水の再利用
- 4. 4 分散型排水処理
- 4. 5 産業廃水処理
- 4. 6 水環境
- 4. 7 大気・臭気
- 4. 8 廃棄物・資源循環
- 4. 9 放射性物質
- 4. 10 発展途上国の環境問題
- 4. 11 産官学連携
- 4. 12 環境ビジネス

5. おわりに

48

1. はじめに

環境工学は、かつて衛生工学と呼ばれていた時代を含めて、日本の高度経済成長と人口の増加期における様々な環境問題の解決に貢献してきた。環境工学が成果を挙げた取り組みには、安全で豊富な水道水の供給、し尿の適切な収集と処理・処分、生活排水や産業排水の適切な処理による水環境の改善、廃棄物の収集と処理・処分、大気汚染の改善と防止、などが挙げられる。土木学会環境工学委員会では、これらの目的を達成するため、大学、研究機関、民間企業、官庁などの連携を促し、新しい技術の開発と普及、人材の育成、制度の整備などに貢献してきた。その結果、日本の住環境と自然環境は大幅に改善された。

日本経済が安定成長期に入ると、微量汚染物質や、廃棄物・資源循環などの新たな環境問題に対応するため、応用化学、微生物学、経済学など様々な関連分野から知識や手法を取り入れることで、環境工学は新しい個々の研究分野に分化し、発展してきた。このように最新の科学技術を活用することで、環境工学は細分化と専門化の時代を迎えた。

その一方で、日本国内外の状況は大きく変化している。海外では、新興国や途上国が急速な経済成長と人口増加を迎え、多くの環境問題が顕在化するとともに、資源不足と価格高騰が深刻化している。また、経済成長とともに温暖化ガス排出量が増加し、地球温暖化が不可避な状況になりつつある。一方、日本は、経済の成熟・停滞期に入り、人口の減少と高齢化が進む中で、高度経済成長期に建設した社会インフラ施設が老朽化しつつある。さらに、2011年3月11日に発生した東日本大震災は、地震被害とともに津波や放射能汚染による被害に対する備えの重要性をあらためて認識させるきっかけとなった。

このような経済の成熟、人口減少、インフラの老朽化、大規模災害のリスクなど、21世紀の日本社会の課題と要請に対応するには、これまでの環境工学の知識、技術、経験を乗り越えて、新しい環境工学の方向性を示す必要がある。すなわち、21世紀の環境工学は、高度に専門化した個別の環境課題に取り組むだけでなく、気候変動の緩和・適応策や、大規模自然災害への対応、社会インフラの再構築など、より大きな枠組みで取り組むべき課題や、解決に時間を要する課題にも取り組む必要がある。

以下では、将来の課題に対する共通の理解のもとで、環境工学の複数の専門分野が互いに協力し、未来の事象の不確実性を理解しつつ、時間・空間の壁を越えたスケールの大きな視野をもって、長期的視点での取組を可能とするために、まず環境問題のこれまでの歴史を概観した上で、環境工学委員会と環境工学に関連する研究者、実務者、学生が今後取り組むべき課題とビジョン、および、環境工学が包含する各分野別の課題と将来の取り組みについて論じる。

2. 環境問題の歴史と将来の課題の変化

2. 1 20世紀までの世界の環境問題の特徴

20世紀までの環境問題は、主に先進国における経済開発と人口増加に伴う問題であり、発展途上国における貧困と開発、衛生と健康問題とは、一線を画すものと考えられてきた(表2.1)。都市の過密などの問題は、既に西欧や米国では19世紀から顕在化していたが、それ以外の環境問題は、産業の規模が小さかった20世紀前半までは、工業地帯や鉱山廃水など一部の地域に限られていた。しかし、20世紀後半には、新しい技術の開発・導入により石油資源に基づいた大規模な産業開発が進むことによって、都市や産業が巨大化し、同時に環境問題がより広範囲に拡大した。これらの環境問題には、水資源などの資源の不足による問題、大気、水、土壌などの環境の汚染に関する問題、下水や廃棄物の処理・処分など廃棄物に関する問題、騒音、振動、地盤沈下など居住環境に関する問題などが挙げられる。

一方、発展途上国においては、近代的な工業が未成熟で、農業人口が国民の大半を占める中で、鉱山廃水や、食品・養殖漁業の排水などの一部を除いては、先進国型の環境問題よりも、貧困撲滅や感染症対策、母子保健、教育、居住環境の改善などがより重要な課題であった。しかし、この様子は20世紀の終わりから21世紀に入って急速に変わりつつあり、発展途上国においては20世紀の課題が未解決のまま、先進国型の環境問題も発生している。

表 2.1 20世紀における環境・開発・健康に関する課題

先進国	発展途上国
人口増加による過密	貧困
水不足(渇水)	開発にともなう環境汚染
水質汚濁、大気汚染、土壌汚染	食糧・栄養失調
廃棄物の処理処分	水と衛生
産業排水・排気・廃棄物による汚染	人口増加
騒音、振動、地盤沈下	伝染病・感染症
	居住(スラム)

2. 2 世界人口の増加と都市化の進行

(1) 世界の人口変化

国連経済社会局によると、2013年半ばの世界人口は約72億人で、将来の人口増加率の中位推計によると、2025年には81億人、2050年には96億人、2100年には109億人へと増加する¹。しかし、これらの中長期の予測は、将来の人口増加率をどのように仮定するかによって大きく異なり、女性一人当たりが出産する子供の数を0.5人大きく設定した高位推計では、2050年の世界人口は109億人、2100年は166億人となる。このことから、世界の人口増加の傾向は、あらゆる資源と環境に対する負荷増大の

¹国連経済社会局 UN Department of Economic and Social Affairs, World Population Prospects: The 2012 Revision. <http://esa.un.org/wpp/> 【2015年2月22日閲覧、以下特に記載がなければ同じ】

最も大きな要因となる。

21世紀の人口増加の多くは、都市人口の増加となって現れる。国連経済社会局によると²、2011年には世界人口の52%である36億人が都市に居住していたが、2050年には世界人口の67%である63億人へと、都市人口は27億人増加する。同じ期間に、開発途上国の都市人口は27億人から51億人へと24億人増加する。即ち、この間の世界の人口増加のほとんどは、開発途上国の都市部で起きると予測されている。また、人口が1千万人を超えるメガシティは、2011年の23都市から2025年には37都市に増加する。このような都市人口の増加は、同じ期間に開発途上国の農村人口が31億人から29億人へと減少することとは対照的である。都市人口の増加は地域による偏りも大きい。1950年から2011年にかけての世界の都市人口の増加に占める地域別の割合は、アジアが57%と最も高く、次いでラテンアメリカ14%、アフリカ13%であったが、2011年から2050年では、アジアが54%と引き続き最も大きな割合であるのに加えて、アフリカが32%と大きく都市人口を増加させることが予測されている（図2.1）。

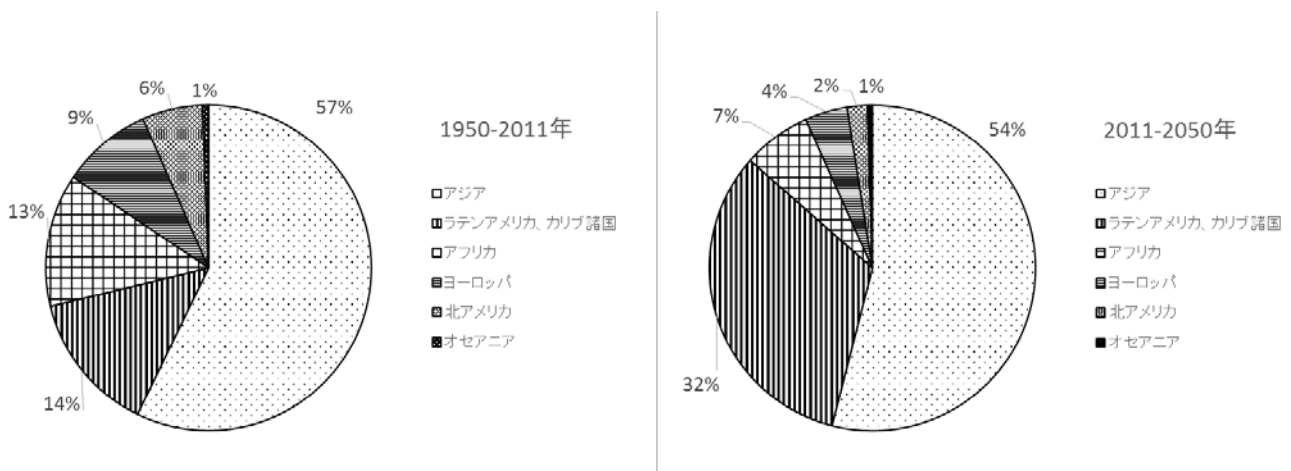


図 2.1 1950-2011年と2011-2050年における都市人口の増加に占める世界の地域の割合²

(2) 日本の人口変化

国勢調査によると、2010年（平成22年）の日本の総人口は12,806万人であった。社会保障人口問題研究所によると、その後日本の総人口は長期の人口減少過程に入り、出生中位推計の結果に基づけば、2030年（平成42年）の11,662万人を経て、2048年（平成60年）には9,913万人となり、2060年（平成72年）には8,674万人になると推計される。生産年齢人口（15-64才）は、1995年（平成7年）の国勢調査で8,726万人のピークに達したが、その後減少局面に入り、2010年（平成22年）には8,173万人となった（図2.2）。将来の生産年齢人口は、出生中位推計によれば、2027年（平成39年）には7,000万人以下、2051年（平成63年）には5,000万人以下となり、2060年には1995年の約半数の4,418万人となる³。

また、世帯数については、2010-2015年に世帯数が減少するのは15県だが、2035年までには沖縄を除く46都道府県で世帯数が減少する。その結果、全国在世帯数は2035年には、2010年よりも4.4%減少する。平均世帯人員は2010年以降、全国の都道府県で減少し、2025年には全ての都道府県で単独世

²国連経済社会局 UN Department of Economic and Social Affairs, World Urbanization Prospects: The 2012 Revision. <http://esa.un.org/wpp/>

³国立社会保障人口問題研究所ホームページ、日本の将来推計人口 <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/con2h.html>

帯が最多となり、一人暮らしが標準となる。また、2035年には65歳以上の世帯主の割合が41都道府県で40%以上となり、世帯主が65歳以上の高齢世帯に占める単独世帯の割合は、2035年には46都道府県で30%以上となり、9都道府県では40%を超える⁴。

人口の減少と高齢化は、上下水道などの基本的な社会インフラによるサービスが停止した場合に自力で解決策を探ることができないと思われる人口が増加することを意味している。従って、将来は持続的な社会インフラサービスの重要性が更に高まると考えられる。

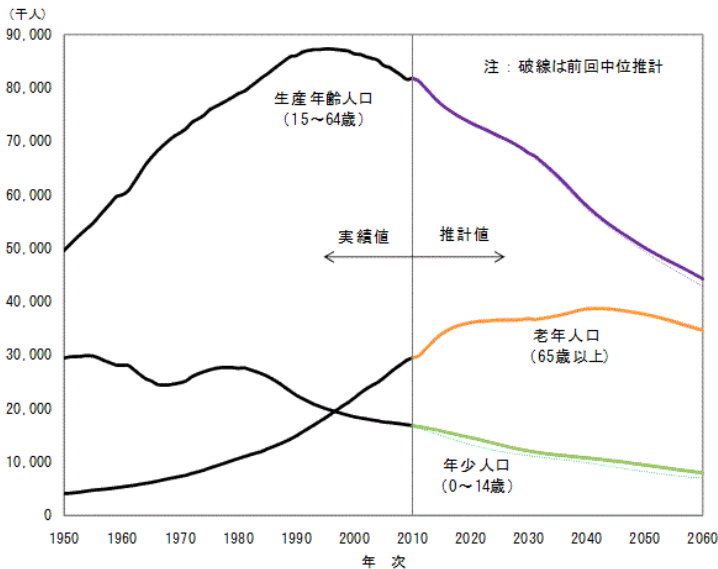


図 2.2 年齢 3 区分人口の推移⁵

これらの人口減少や世帯構成の変化がもたらす影響としては、以下の点が考えられる。

- ① 高齢者人口の増加と社会を支える勤労世帯の減少： 税収減
- ② 企業活動の縮小と経済、税金収入の減少
- ③ 世帯人口の減少、人口密度の低下、空家の増加による、社会インフラサービスの効率低下
- ④ 人口減少、経済活動の縮小による汚濁負荷の低減
- ⑤ 老朽化住宅の建て替え、空家対策としての都市空間の有効利用

これまで、人口増加期には、土地、水資源、食糧、エネルギーなどの不足や、過密による生活空間の悪化などが「問題」とされてきた。しかし、人口減少期には、これらの問題は明らかに「改善」するはずである。それでは、今日、われわれは人口減少を課題と捉えるべきなのか、あるいは、過密による課題の解決のチャンスととらえるべきであろうか。この問題に答えを見出すためには、人口増加・減少による社会生活と社会基盤への影響を、生活者の社会経済・精神心理、社会インフラの健全度、自然環境や生態系への影響などについて、網羅的に調べる必要がある。

⁴国立社会保障人口問題研究所ホームページ、日本の世帯数の将来推計

<http://www.ipss.go.jp/pp-pjsetai/j/hpjp2014/t-page.asp>

⁵ 国立社会保障人口問題研究所ホームページ

http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/z1_3.html

(3) 都市環境の変化

気候は、気温、湿度、降雨、風、日射など様々な気候要素によって表現されるが、都市域においては、都市活動によって人為的な影響も受ける⁶。都市気候においては、人工物の増加、緑地や水辺の減少、冷暖房などの排熱により、地表面の熱収支バランスが自然の環境とは大きく異なり、ヒートアイランド現象が発生する。ヒートアイランド現象は、体感温度の変化により生活を不快にするだけでなく、空調のための消費エネルギーが増加し、さらに人工排熱の排出量が増大する。このような人工排熱が、都市環境に及ぼす影響が問題となっている。ヒートアイランド現象が発生すると、上空ほど気温が高くなる逆転層が郊外に発達しやすくなり、空気が混合しにくくなる結果、都市部の大気は蓋をされたような状態となり、大気汚染が発生しやすくなる。都市の気温上昇は、都市の乾燥化をもたらしている。東京では、1950年以降の急激な気温の上昇により、相対湿度が低下している。また、都市の高層建築はビル風と呼ばれる強風をもたらす一方で、摩擦により風速を弱める働きも示す。そのため、都市の空気の交換が少なくなり、大気汚染物質が長時間その場にとどまることが知られている。

2. 3 エネルギー消費量の増大と環境問題（資源の枯渇）

世界エネルギー機関（IEA）によると⁷、世界のエネルギー需要の中心は、明らかに先進国から新興国へと移動しつつある。2020年までに、中国は世界最大の石油輸入国になり、インドは世界最大の石炭輸入国になる。原油価格の上昇と、地域によるガス・電気料金の格差、多くの国におけるエネルギー輸入価格の上昇は、エネルギー資源と経済との関係について、多くの人々の強い関心を引き付ける。多くの企業において、エネルギーコストは全コストのわずかな割合でしかないが、化学、アルミ、セメント、鉄鋼、製紙、ガラス、石油精製など、エネルギーコストの割合が高く、世界的に貿易が行われている産業においては、ガス・電気価格の高騰が産業競争力や投資、雇用に大きな影響を与える。その影響は、特に日本や欧州で大きく、エネルギー価格の上昇は日本と欧州の輸出品が占める世界市場占有率を約1/3低下させるのに対して、米国やアジア新興国では国際的なエネルギー価格の上昇が世界市場の占有率に与える影響は小さいと推測される。

エネルギー分野は、世界の温暖化ガス発生源の約2/3を占めることから、温暖化対策の目標が達成できるかどうかについて、重要な役割を果たす。各国政府が公表したCO₂削減目標を勘案しても、エネルギー分野からのCO₂排出は2035年までに20%増加する。このため、世界の気温は目標である2°C以内には収まらず、約3.6°C上昇すると予測されている。

2. 4 経済社会のグローバル化がもたらす影響

グローバル化は、環境改善へ向けた新たな協力の機会をもたらすとともに、新たな課題も生み出す。グローバル化がもたらす経済成長は、国境を越えた大規模汚染を引き起こすリスクを高め、資源の大量

⁶ ヒートアイランド抑制のための対策手法報告書、環境省、平成12年3月

<https://www.env.go.jp/air/report/h20-05/chpt1.pdf>

⁷ 世界エネルギー機関 International Energy Agency, World Energy Outlook 2013: Executive Summary,

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/world-energy-outlook-2013---executive-summary.html>

消費を引き起こす。国際貿易の増加により、消費者には低価格な商品が手に入るようになる一方で、国際的に厳しい経済競争の中で各国政府が国内の経済・環境政策を実施するためには、国際的な協力が不可欠であり、国際的な環境ガバナンスのメカニズムが必要とされる⁸。

グローバル化と環境の関連性についてのUNEP会合資料では⁹、グローバル化が環境に与える影響は極めて複雑であるとしたうえで、グローバル化の影響を経済、知識、ガバナンスの3つの視点から評価した。その結果、経済のグローバル化が環境に与える影響としては、経済の規模が拡大し、消費が増大、外部経済が多様な形で分散する他、収入が増加するため環境保護のために利用可能な資源が増加し、技術開発も促進される。その一方で、天然資源の利用可能量がグローバル化の促進・制限要因となり、グローバル化は天然資源の枯渇を引き起こしたり、あるいは、必要な分野から利潤の高い分野へとエネルギー資源の流れを巻き起こす。このため、グローバル化が永続的な経済の繁栄を危機に陥れる恐れがある。また、グローバル化は、脆弱な生態系や貧困層が多い社会に危機を招く恐れがある。

知識のグローバル化は、環境に関する知識や技術を普及させ、国境を越えた人々のつながりによって、環境に対する意識が向上する。環境ストレスに関する情報がより速く世界中に伝わる結果、環境汚染や持続性のない地域の情報が伝わり、環境が改善する可能性がある一方で、それらの地域が他の地域から疎外され孤立する恐れもある。

環境ガバナンスについては、グローバル化は、政府による環境規制をより難しくする。その結果、世界的に統一した環境規制への要求が高まる。また、国際的な環境基準が貿易と投資に影響を及ぼす。そのため、貿易、投資、健康など様々な分野において、環境ガバナンスに配慮が必要となる。また、NGOを含むより多様な人々の環境ガバナンスへの参加が重要となる。

2. 5 気候変動

(1) 気候変動をめぐる世界の動き

IPCC WG2 AR5によると¹⁰、最近数十年の気候変動は、世界中の自然あるいは人工的なシステムに影響を与えている。高い確率で降水量の変化や融雪に影響し、その結果、水資源の量や生態系にも影響を与えている。沿岸域や島嶼部に住む人々の、洪水や海面上昇による死者、負傷者、健康被害は増加する。また、都市部においても、洪水の被害が増加し、電気、水道などの都市インフラが被害を受けることで生活が脅かされる。気候変動による世界的なリスクは、都市域に集中している。持続可能な開発と、気候変動への適切な適応策を講じることが、それらのリスクを低減することに有効である。しかし、気候変動が人間の健康に及ぼす影響は、それ以外の影響因子に比べて比較的小さく、定量化が困難である。気候変動に対する脆弱性は、気候変動以外の因子との関連性や、不平等な開発プロセスが大きく影響している。そのため、これらの因子が気候変動によるリスクの違いを生み出している。社会的、経済的、文化的、政治的、組織的に疎外された人々は、気候変動に対して脆弱である。その脆弱性は、唯一の原

⁸ Globalization and Environmental Protection: a Global Governance Perspective, D.C. Esty, M. H. Ivanova, Yale Center for Environmental Law and Policy, 2003.

⁹ Environment and Globalization – Five Propositions, A. Najam, D. Runnalls, M. Halle, International Institute for Sustainable Development, 2007. Document prepared for the Global Ministerial Environmental Forum of UNEP in 2007.

<http://www.unep.org/gc/gc24/docs/FivePropositions.pdf>

¹⁰ IPCC WGII AR5, 2014. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>

因からもたらされるのではなく、複数の原因が重なってもたらされるものである。近年の熱波、洪水・渇水、サイクロン、森林火災などは、生態系と人間環境が気候変動の影響にさらされていることを示す重要な脆弱性の現れである。

これらの状況において、気候変動への適応は、様々な分野の計画で配慮されるようになりつつあるが、適応策の実施に至る事例は少ない。災害対策や水資源マネジメントなどの分野では、技術的な適応策が検討され、社会、組織、生態系による適応策も認知を得られつつある。今日の適応策は、段階的な適応とコベネフィットを取り入れて、柔軟性と学習も重要だと考えられている。気候変動への適応策の第一歩は、現在の気候に対する脆弱性を軽減することであり、コベネフィットの考えを取り入れ、他の目的にも貢献できるようにすることが望ましい。その例としては、都市域における省エネルギーや、節水などが挙げられる。

気候変動への適応は、気候変動影響の大きさと時期に関する不確実性を考慮しつつ、適応策の限界も理解しながら意思決定を行うプロセスである。このような状況にあるにもかかわらず、現在の気候変動に関する意思決定は、21世紀を通じて気候変動がもたらすリスクに大きな影響を及ぼす。

(2) 気候変動への日本の対応

気候変動による日本への影響としては、水資源、農業、生態系、沿岸域、健康など様々な分野に表れている。国際的な枠組みによる温室効果ガスの削減見通しが立たない中で、21世紀末を見据えて、温暖化の影響を最小限とする温暖化適応策が求められている。環境省の研究チームによると¹¹、このうち、温暖化による水資源への影響については、全国の河川を対象に将来の気候条件に基づいてシミュレーションを行ったところ、2090年代において降雨量の増加に伴い、河川の浮遊物質濃度(SS)が増加することが示された。更に、河川流量は森林の樹種の変化にも影響を受けており、2090年代の樹種に基づいたシミュレーションでは、現在の樹種に基づいたシミュレーションに比べて河川流量が8%から21%増加する。また、水道水源となっているダム湖においては、流域人口の減少によりリンなどの負荷が減少するものの、東日本では温暖化により藻類の増殖と異臭味被害が増える可能性が示された。近年、高濁度や異臭味による水道被害が増加していることから、気候変動によるこれらのリスクに対して対応が必要である。

洪水氾濫や高潮は、沿岸の都市域を中心に大きな被害をもたらす。斜面崩壊は、都市近郊の丘陵地に開発された住宅団地などで大きく、これらの被害に対する適応策が必要である。海面水位の上昇は、砂浜の消失ももたらし、高潮リスクの高い地域では、沿岸防災対策の視点からも砂浜の保全が必要である。

2.6 自然災害

日本列島は、地理的に様々な自然災害に見舞われやすい地域に存在している。日本列島は北米プレート、ユーラシアプレートの下に太平洋プレート、フィリピン海プレートがもぐりこむまさにその上に位置している。地殻の活動が活発であり、地震・津波といった災害に見舞われやすい。また、日本列島は台風の通り道にあり、毎年、複数の台風が接近あるいは上陸している。

地震に関しては、ほぼ数年～数十年ごとに大きなものが発生し、被害をもたらしている。過去100年

¹¹ 地球温暖化「日本への影響」、環境省環境研究総合推進費、S-8 温暖化影響評価・適応策に関する総合研究 2014 報告書

間では、関東地震（1923年）、昭和三陸地震（1933年）、鳥取地震（1943年）、東南海地震（1944年）、三河地震（1945年）、南海地震（1946年）、福井地震（1948年）、新潟地震（1964年）、宮城県沖地震（1978年）、日本海中部地震（1983年）、兵庫県南部地震（1995年）、新潟県中越地震（2005年）、能登半島地震（2007年）、新潟県中越沖地震（2007年）、岩手・宮城内陸地震（2008年）といった地震が発生している。また、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、869年に発生した貞観地震の再来といわれている。

中でも兵庫県南部地震は戦後初めて直下型の地震が大都市を地震が襲ったものであり、環境工学関連では上下水道が止まることの市民生活への影響の深刻さや、膨大に発生する震災廃棄物の処理処分について、多くの教訓を残した¹²。また、新潟県中越地震では下水道マンホールの液状化による浮上が重視された¹³。

東北地方太平洋沖地震は、日本という国土の宿命として記憶されるべきものであろう。液状化被害の生じた範囲は極めて広く、それに加えて、地震と同時に発生した巨大な津波により東北地方太平洋岸の下水処理場の多くが水没した。複数の処理場が同時に被災したために資源を集中的に投下することもできず、その復旧にはおよそ2年の歳月がかかった。下水道施設については耐震設計基準に津波への対策が盛り込まれることとなった¹⁴。一方、廃棄物に関しては兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）の教訓を生かし分別を徹底するよう呼びかけがなされ¹⁵、また、広く実践された¹⁶。

また、地震・津波により発生した福島第一原子力発電所の事故は、自然災害ではないが、自然災害を契機として副次的に発生した大災害である。発電所から放出された放射性物質のために、一部の水道事業者では水道水中に放射能が検出されるようになり消費者に対して水道摂取制限を実施した¹⁷。下水道では特に合流式下水道の汚泥に放射性セシウムなどが濃縮され、有効利用の道は閉ざされ、処理場内に一時保管する状況が発生した¹⁸。放射性物質は震災により発生したがれきも汚染し、自治体間の協力による広域的な処理処分を困難とした¹⁹。

一方、過去大きな被害をもたらした台風として、室戸台風（1934年）、枕崎台風（1945年）、カスリーン台風（1947年）、ジェーン台風（1950年）、狩野川台風（1958年）、伊勢湾台風（1959年）、第二室戸台風（1961）等が知られている。これら台風では、いずれも数十万棟の規模で洪水や高潮による浸水被

¹² 阪神・淡路大震災調査報告 共通編・3 都市安全システムの機能と体制. 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、地盤工学会、土木学会、日本機械学会、日本建築学会、日本地震学会、1999.

¹³ 下水道地震対策技術検討委員会報告書「新潟県中越地震の総括と地震対策の現状を踏まえた今後の下水道地震対策のあり方」について. 国土交通省、2005.

http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040826_.html

¹⁴ 下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、国土交通省、2012.

<http://www.mlit.go.jp/common/000211317.pdf>

¹⁵ 一般社団法人廃棄物資源循環学会編著、災害廃棄物分別・処理実務マニュアル～東日本大震災を踏まえて～. ぎょうせい、2012.

¹⁶ 一般社団法人日本建設業連合会 復旧・復興対策特別検討会、東日本大震災 災害廃棄物処理の報告 - 災害廃棄物処理を語り・伝える-、2014. <http://www.nikkenren.com/doboku/saigai/report.html>

¹⁷ 水道水における放射性物質対策検討会、水道水における放射性物質対策 中間取りまとめ、厚生労働省、2012. <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001g9fq.html>

¹⁸ 下水道における放射性物質対策に関する検討会、中間とりまとめ、国土交通省、2012.

http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000165.html

¹⁹ 環境省、災害廃棄物の広域処理の推進について（東日本大震災により生じた災害廃棄物の広域処理の推進に係るガイドライン）、2012. https://www.env.go.jp/jishin/attach/memo20120111_shori.pdf

害が発生した。特に伊勢湾台風では、伊勢湾沿岸の高潮浸水域を中心に5,000人を超える人命が失われ、また、住家全壊4.1万棟、半壊11.3万棟、床上浸水15.8万棟、床下浸水20.6万棟といった被害が発生し、災害対策基本法（1961年公布）を制定するきっかけとなった。建築物の強化や洪水や高潮への対策が進められたため、1980年代以降は人命被害や建物への被害は大幅に減少した²⁰。しかし、前項に述べた気候変動は、海水温の上昇や海水面の上昇を通じて台風による被害のリスクを高めることが予想される。また、1960年代後半から1990年代前半は勢力の強い台風が少なかったため被害が少なかったという面もある²⁰。カスリーン台風規模の台風が再来した場合洪水を防ぎきれないとの見方もあり、十分対策がなされていると考えるのは危険である²¹。また、台風以外の集中豪雨や長雨による水害や土砂災害も発生している。1975年以降2013年までの大雨の年間観測回数を単純に直線回帰すると、この期間に、時間雨量50mmを超える大雨は約1.5倍に、また、時間雨量80mmを超える大雨は約1.8倍に増加した²²。大雨の増加により、雨水を安全に排除しきれずに内水氾濫が起きたり、また、大雨が長期に及ぶ場合には土砂災害の発生に結びつく。気候変動は、台風被害のリスクを増加させるだけでなく、大雨の増加とそれにもなう都市水害の増加を引き起こすと考えられる。竜巻など突風も気候変動によって増加するとみられている。

こうした気象災害は、被災地における衛生環境の悪化をもたらすとともに災害廃棄物の発生をもたなう。また、甚大な場合には河川水の取水設備の損壊や下水処理場や排水施設の水没など環境関連インフラの破壊をもたらす場合もある。

以上のように日本列島は自然災害への対応抜きには都市の持続可能性を考えることはできない。自然災害は人命や経済的被害、あるいは災害対策としての都市インフラの整備といった観点で語られる傾向が強いが、都市の持続可能性を高めるために、環境工学分野からも人材育成や技術開発の面から積極的に関わる必要がある。

2. 7 生態系のかく乱と保護

(1) 生態系保護に関する世界の動き

我々人類は、明確に意識しないながらも、毎日の生活を生態系のサービスに依存している²³。水、食料、資源はその例で、我々の健康は、これらによって支えられている。生態系の喪失は、生態系サービスを崩壊させることで人間の健康と生活に重大な影響を及ぼす（図2.3）。それに加えて、微生物や草本類などの様々な生物は、医療や薬品の発見につながることから、生物多様性の喪失は、生態系の機能に影響を及ぼし、それによって将来の人類の疾病の治療や健康に影響を及ぼす。また、生態系サービスは、食糧の提供を通じて、人間の栄養摂取にも影響する²⁴。

²⁰水谷武司、伊勢湾台風災害のインパクトと戦後台風災害の経年的変化、防災科学技術研究所研究報告、75(9)、11-32、2009

²¹大規模水害対策に関する専門調査会、大規模水害対策に関する専門調査会報告 首都圏水没 ～被害軽減のために取るべき対策とは～、総務省、2010。

<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/26/pdf/shiryo4-2.pdf>

²²アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について、気象庁。

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>

²³ Biodiversity, WHO. <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/biodiversity/en/>

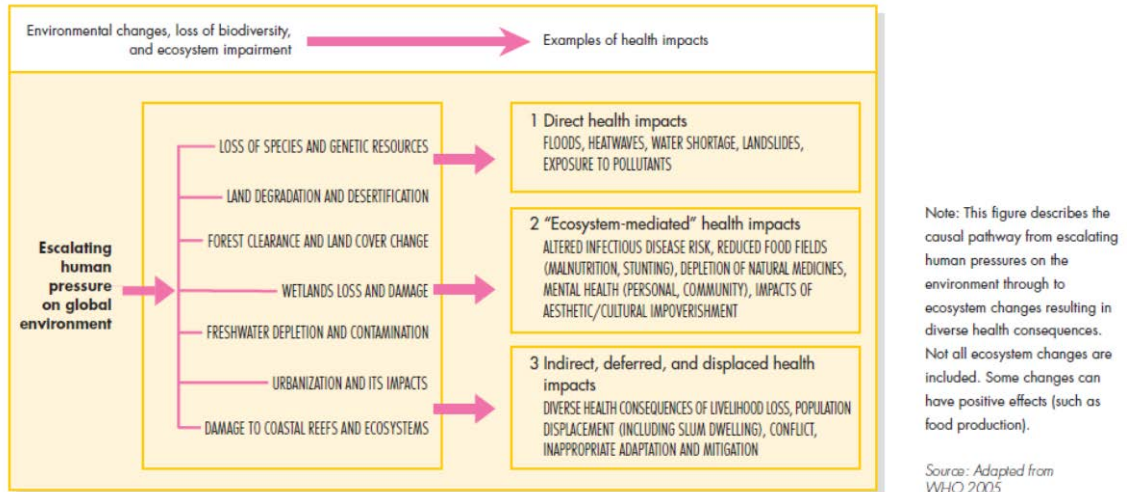


図 2.3 生態系変化による人間の健康に対する悪影響²⁴

Millennium Ecosystem Assessment によると、生物種の消滅速度は、将来は現在とは比較にならない程度に加速する²⁵ (図 2.4)。その結果、100 年後に残存する生物種は、現在の生物種よりも大幅に減少することが予測されている²⁵。このまま、生物種の保存を心がけないと、生態系のサービスが著しく低下した結果、将来の世代において必要となる生態系サービスを受けられなくなる恐れがある。これは、将来の世代における人間の健康に関しても大きな危機となる。

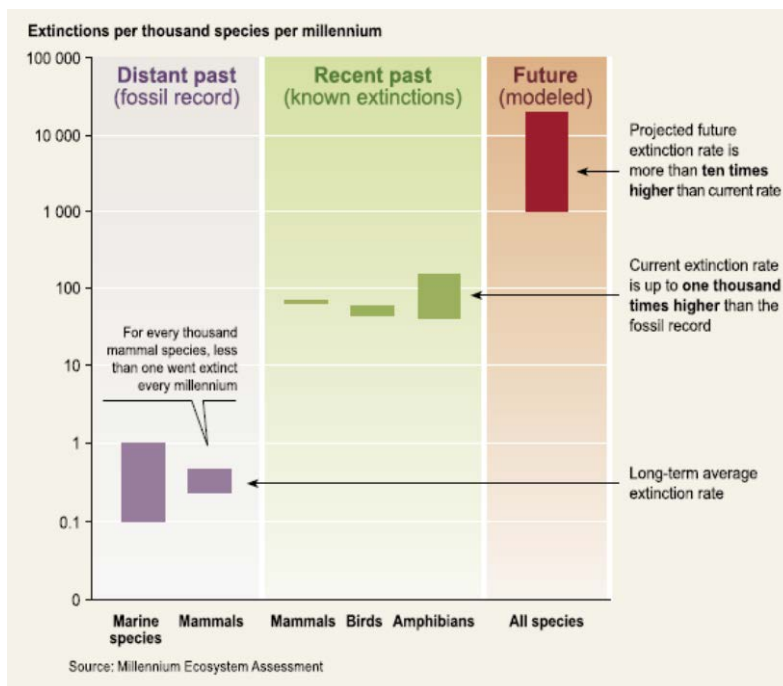


図 2.4 生物種の消滅速度 (100 年あたりに消滅する生物種)²⁵

²⁴ GEO4 Chapter 5 Biodiversity, 2007.

http://www.unep.org/geo/geo4/report/05_Biodiversity.pdf

²⁵ Ecosystems and Human Well-being – A Report of the Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>

(2) 生態系保護に関する日本の取組み

生物多様性国家戦略（平成 24 年 9 月）²⁶は、生物多様性基本法第 11 条に基づいて策定された計画である。それによると、生物の多様性を保持する意義は、生態系は全ての生物が存立する基礎となっていること、人間にとって有用な価値を有すること、豊かな文化の根源となること、将来にわたる暮らしの安全を保障することを挙げている。日本の既知の生物種数は 9 万種以上、未知のものを含めると 30 万種を超えると推定されている。固有種の比率が高いことも特徴で、陸棲哺乳類、維管束植物の約 4 割、爬虫類の約 6 割、両生類の約 8 割が固有種である。海洋生物も、海外の同じ緯度の地域に比べて、海水魚の種類が多く、海棲哺乳類も多くの種が生育している。これは、日本の国土が固有の自然環境におかれていることから、多様な生育環境をもたらしたためである。

その一方で、日本人の生活は、国内外の生物多様性に影響を与えている。2008 年の日本人一人あたりのエコロジカルフットプリントは、世界平均の 1.5 倍に相当し、発展途上国からの木材や水産物の輸入などにより、海外の生物多様性に影響を与えてもいる。生物多様性の危機は、開発などの人間活動、自然に対する働きかけの縮小、人間により持ち込まれた生物、地球環境の変化、によりもたらされる。そこで、生物多様性国家戦略 2012-2020 では、自然共生社会における 100 年計画としての国土のランドデザインが必要であるとしている。生物多様性保持の基本戦略としては、生物多様性を社会に浸透させ、地域における人と自然との関係を見直し、再構築すること、その一方で、地球規模の視野を持って行動することを挙げている。また、科学基盤を強化し、政策に結びつけることも重要であると述べている。

日本の国土は 67%が森林で覆われ、また 41%は人工林で覆われている²⁷。このため、森林、特に人工林を管理することは重要である。日本の森林・林業に関しては、林野庁が「森林・林業再生プラン」²⁸を公表している。戦後植林した人工林資源が利用可能な段階に入りつつある中で、施業の集約化の遅れなどから林業の生産性は低く、木材価格も低迷しているため、林業への関心が低下している。一方で、資源ナショナリズムや、環境保護のため海外からの輸入は先行き不透明感を高めている。また、再生可能な木材を利用することで地球温暖化の緩和に貢献することが必要、との認識もある。

2. 8 ミレニアム開発目標²⁹

WHOとUNICEFのJoint Monitoring Report (JMP2013)³⁰によると、2011 年現在、世界人口の約 2/3 にあたる 64%の人口が改善された衛生施設を利用できる一方、15%の人口は野外排泄をしている（図 2.5）。1990 年以来 19 億人が改善された衛生施設を利用できるようになったが、ミレニアム開発目標の衛生施設へのアクセス指標（2015 年までに改善された衛生施設にアクセスできない人口を、1990 年の 51%から 25%以下にすること）は達成できそうにない。1990 年から 2011 年までに都市人口の 11 億人が改善さ

²⁶ 生物多様性国家戦略 2012-2020

http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf

²⁷ 都道府県別森林率・人工林率、林野庁、平成 24 年 3 月 31 日

<http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h24/1.html>

²⁸ 森林・林業再生プラン、林野庁、平成 21 年 12 月 25 日

<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/saisei/>

²⁹ Joint Monitoring Programme (JMP) 2014, WHO/UNICEF. <http://www.wssinfo.org/>

³⁰ Joint Monitoring Report 2013, WHO/UNICEF, 2013.

http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPReport2013.pdf

れた衛生施設を利用できるようになった一方で、都市人口が13億人増加した結果、改善された衛生施設を利用できない都市人口は約2億人増加した。これは、同じ期間に世界全体で改善された衛生施設を使用できない人口が約4億人減少していることと比べて際立っており、Post-MDGsでは都市住民の衛生施設へのアクセスを向上することが課題であることがわかる。改善された飲料水へのアクセス指標については、サブサハラアフリカや太平洋諸島をのぞいて、MDGsを達成できる見込みである。しかし飲料水指標も、衛生施設へのアクセス指標と同様に、農村部の人口が減少しているのに比べて、都市部の人口は増加している。

これらのことから、21世紀のPost-MDGsにおいては、開発途上国の都市部の住民に対して、改善された飲料水と衛生施設のサービスを普及する方策を提供することが特に重要である。これは、都市部の低所得者居住区における水と衛生のアクセス改善を意味しており、それに加えて、洪水対策や廃棄物の収集を併行して行うことで、居住環境全般と衛生状態の改善にもつながるものである。

これまで、「都市化」は、都市問題として環境や健康に対する負の側面が報じられることが多かった。環境工学もまた、都市化のネガティブな側面に対する対策を講じてきた。21世紀にはアジア、アフリカで都市化が進行するが(2.2参照)、都市の住民は保健医療、教育、収入と生活の安定性など、農村住民に比べても高い生活の水準を維持している。これらの点を考えると、都市化や人口の増加は全てが負の影響ではなく、生活状況の改善・向上に寄与している点も多いことに注意が必要である。都市化への対応としては、これらの環境改善や教育・生活に対する影響を評価しつつ、反対に負の影響を緩和・縮小する方策を見出すことが重要である。

Since 1990, 1.1 billion people in urban areas gained access to improved sanitation whereas the urban population grew by 1.3 billion people

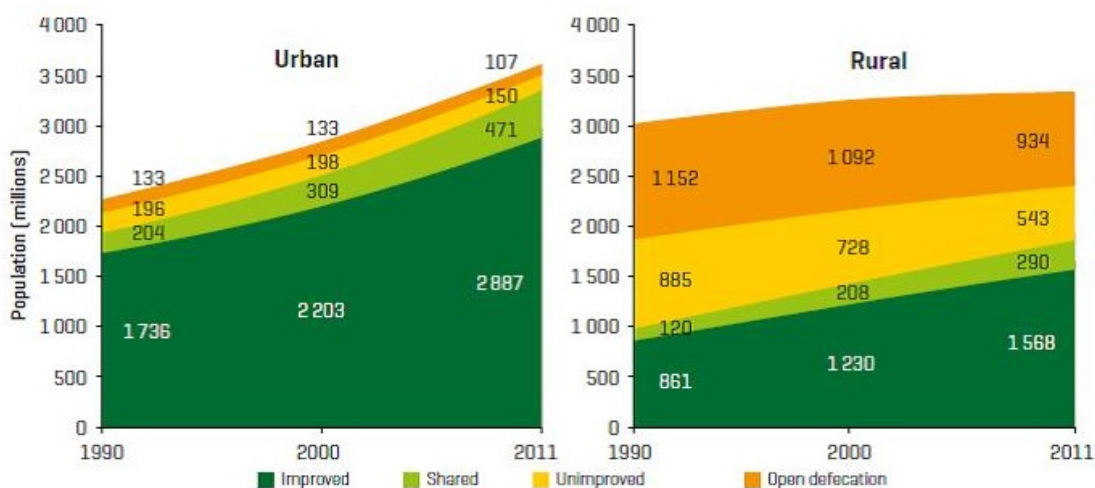


図 2.5 世界の衛生施設へのアクセスの変化 (1990-2011) ²⁹

2. 9 環境に関する国際的な条約・枠組み

環境問題の国際化とともに、複数の国際機関が設置され、また、環境に関する条約が締結された。2.4で述べたとおり、経済のグローバル化は、国家間の経済競争を引き起こし、その結果、環境に関する諸課題も、もはや一つの国では対応ができない状況となっている。

そのような状況を示すのが、環境に関する国際条約等の増加であり、表 2.2 に環境に関する主な国際条約等を掲げた。

表 2.2 環境に関する主な国際条約等(2012.7 現在)³¹

条約名	採択日	発効日	締約国数、概要
ラムサール条約 (特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約) Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat	1971	1975	162 特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地及びその動植物の保全を促進することを目的とする条約。
ワシントン条約 (絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約) CITES: Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora	1973	1975	175 絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引を規制することによって、当該種の保存を図ることを目的とする条約。
オゾン層保護 ウィーン条約 (オゾン層の保護のためのウィーン条約) Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer	1985	1988	196+EU オゾン層保護のための国際的な協力を謳った枠組条約。
モントリオール議定書 (オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書) Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer	1987	1989	196+EU オゾン層破壊物質を特定し、その消費・生産等を規制する議定書。
バーゼル条約 (有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約) Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal	1989	1992	有害廃棄物の越境移動及びその処分の規制について国際的な枠組を作ること並びに環境を保護することを目的とする条約。
環境保護に関する南極条約議定書 Protocol on Environment Protection to the Antarctic Treaty	1991	1998	鉱物資源活動の禁止、環境影響評価、動植物の保護、廃棄物の処分・管理、海洋汚染の防止、地区の保護・管理等により南極の環境及び生態系を包括的に保護することを目的とする議定書。
生物多様性条約 (生物の多様性に関する条約) Convention on Biological Diversity	1992	1993	192+EU 生物の多様性の保全、その構成要素の持続可能な利用及び遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分を目的とする条約。
砂漠化対処条約 (深刻な干ばつ又は砂漠化に直面する国(特にアフリカの国)において砂漠化に対処するための国際連合条約) UNCCD: United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa	1994	1996	194+EC 深刻な干ばつまたは砂漠化に直面する国(特にアフリカの国)による国家行動計画の作成・実施、及びそのような取組を先進締約国が支援すること等について定める条約。
ロンドン議定書 (1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約の1996年の議定書) 1996 Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972	1996	2006	42 海洋汚染の防止に関するロンドン条約(1972年)の規制内容を更に強化することを目的とするもので、海洋投棄を原則全面禁止するとともに、投棄可能な一部例外についても、投棄許可に関する厳しい規制を課す。

³¹ 外務省、地球環境関連条約・国際機関等一覧(2012.7)、から抜粋
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/pdfs/jyoyaku_kikan.pdf

条約名	採択日	発効日	締約国数、概要
ロッテルダム条約 (国際貿易の対象となる特定の有害な化学物質及び駆除材についての事前のかつ情報に基づく同意の手続に関するロッテルダム条約) PIC: The Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade	1998	2004	148+EU 有害化学物質等の国際取引において、相手国の輸入意思に従うと共に、情報交換を行い、化学物質の適正な管理を促進することを目的とする条約。
カルタヘナ議定書 (生物の多様性に関する条約のバイオセーフティに関するカルタヘナ議定書) Cartagena Protocol on Biosafety	2000	2003	163+EU 遺伝子組み換え生物による生物多様性の保全及び持続可能な利用への悪影響を防止するための輸出入の手続等について定める議定書。
ストックホルム条約 (残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約) POPs: Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants	2001	2004	176+EU 残留性有機汚染物質 (PCB、DDT、ダイオキシン等) の製造、使用及び輸出入の原則禁止、非意図的な放出の放出源の特定、廃棄物の適正な管理等につき規定する条約。
2006 年の国際熱帯木材協定 ITTA: International Tropical Timber Agreement	2006	2011	61+EU 熱帯林の持続可能な経営及び熱帯木材貿易の発展を促進するため、生産国と消費国との間の協議・協力の枠組み。本協定により国際熱帯木材機関 (ITTO) が設置。

2. 10 環境問題の変化： 国際的な動向を考えると、我々は何をなすべきか？

21 世紀を迎えて、先進国においては、20 世紀に顕在化した多くの環境問題をほぼ解決したが、新たな環境問題も発生している。毎年新たに開発され使用される数多くの化学物質、薬品、素材は、製造時、使用時、廃棄後に、環境を経て人体に摂取されると考えられているが、その多くの実態やリスクは不明なままである。また、環境の汚染と生態影響との関連性は、より複雑で解明が困難となりつつある。一方、発展途上国や新興国においては、経済開発と環境汚染とが密接に関連し、これに貧困や健康の問題も同時に発生しており、20 世紀の状況とは異なっている。また、気候変動による地球温暖化は、先進国と発展途上国とを問わず、全ての人類が直面する環境問題であり、その対応には、世界各国の協力が不可欠である。地震や津波、台風、ハリケーンなどの自然災害も先進国と開発途上国とを問わず、人口の集中する地域において、大きな被害をもたらしている。これらの自然災害による人的・物的な直接被害に加えて、被災後の二次災害ともいえるべき、汚染物質・放射能などの流出も課題である。

これらの環境問題の変化を踏まえると、21 世紀の環境工学は以下の視点をもって課題に取り組む必要がある。

- ① 環境問題の変化： 環境問題の空間的スケールの拡大。必要とする知識・分野の多様化。対応に要する時間の長期化。(図 2.6)
- ② リスクの変化： 見えるリスク、短期的・小規模なリスクから、見えないリスク、大規模なリスクへ。不確実性の増大とリスク対応策の多様化・ソフト化。レジリエント(強靱)な社会の構築。(図 2.7)
- ③ 社会経済の変化： 大規模投資によるインフラ整備から、お金のかからない環境対策へ。費用対効果、環境にやさしい技術が求められる。

- ④ 社会のコンセンサス： 多様化する社会と目標。何を優先するか？限られた資金の振分についての意思決定に誰が参加するのか？などの課題への対応。合意形成プロセスへの関与、助言。
- ⑤ 多数意見に対する、少数意見の重要性： 多数意見は常に科学的に正しいとは言えない。独立した専門家としての学会の役割を再認識する必要性。

これらは、21世紀の環境工学を学び、専門とする者の基本的な状況認識に基づいた視点と、取り組みの姿勢を示したものであり、土木学会環境工学委員会においても、委員会委員のみならず、環境工学関連の研究者および実務者の間で広く共有すべきものである。

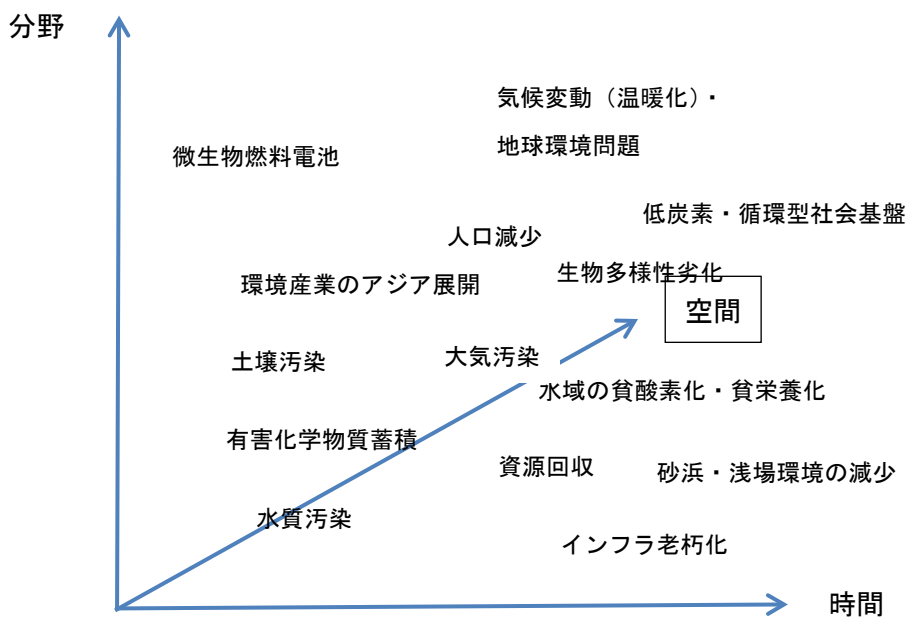


図 2.6 時間、空間、研究分野を指標とした課題整理

発生時の影響の大きさ（重大性）

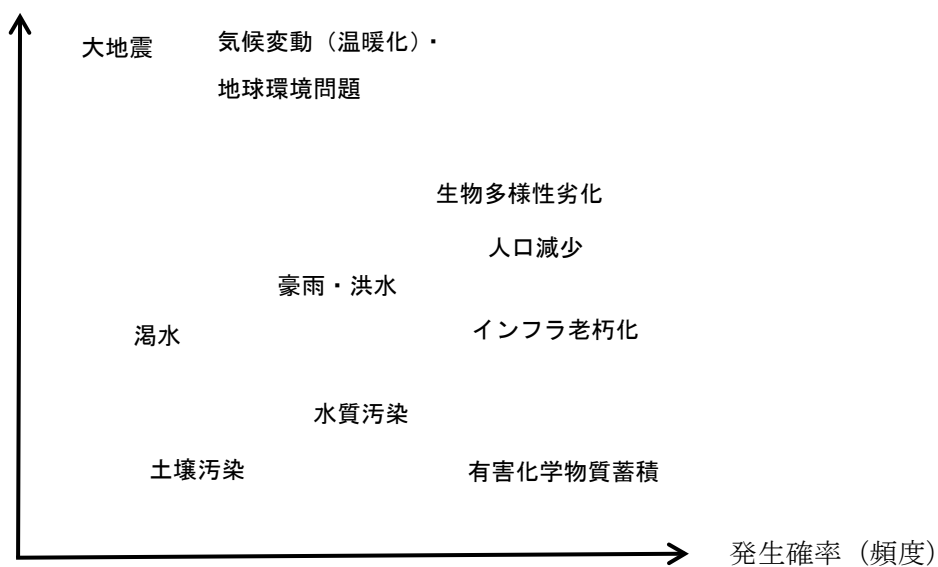


図 2.7 頻度と重大性を指標とした課題整理

3. 環境工学委員会の将来ビジョン

3. 1 環境工学が取り組むべき新しい課題

(1) 我が国の科学技術基本政策と環境研究

日本の科学技術の基本政策は、平成7年に策定された「科学技術基本法」に基づいて策定される「科学技術基本計画」に基づいて、長期的視野に立って体系的かつ一貫した科学技術政策を実行することとされている³²。これにより、平成8年～12年の第1期計画から、第2期、第3期を経て、現在は平成23年～27年の第4期基本計画が閣議決定されている。科学技術基本計画は、総合科学技術・イノベーション会議がこの基本計画の策定と実行に責任を有している。

第4期科学技術基本計画のポイントは以下のとおりである。

世界は今、環境、エネルギー、食料、感染症など、地球規模の様々な問題に直面しています。さらに、東日本大震災は、我が国の未曾有の危機であるだけでなく、世界的な課題となっており、このような世界規模の多様な問題に対して、各国は協調、協力して取り組まなければなりません。我が国は、科学技術の先進国として、これらの問題に先駆けて対峙していきます。

こうした背景のもと、第4期基本計画では、以下の3つの基本方針と、5つの目指すべき国の姿を掲げています。これらの基本方針と目指すべき国の姿を第1章に、第2章～第5章には、その実現に向けて達成すべき課題と推進方策を明示しています。

【基本方針】

1. 「科学技術とイノベーション政策」の一体的展開

我が国が取り組むべき課題をあらかじめ設定し、その達成に向けて、科学技術政策に加えて、成果の利活用に至るまでのイノベーション政策も幅広く対象に含め、これらを一体的に推進する。第3期基本計画における分野別の重点化から、課題達成型の重点化に転換する。

2. 「人材とそれを支える組織の役割」の一層の重視

天然資源に乏しく、人口減少が見込まれる我が国において、科学技術イノベーション政策を強力に推進していくために、これを担う優れた人材の育成と、能力が十分に発揮できるような大学や公的研究機関の人材を支える組織的な支援機能の充実を強化する。

3. 「社会とともに創り進める政策」の実現

国民の期待や社会的要請を的確に把握し、政策の企画立案、推進に生かすため、国民との対話や情報提供を一層進め、国民の理解と信頼と支持を得る。

【目指すべき国の姿】

1. 震災から復興、再生を遂げ、将来にわたる持続的な成長と社会の発展を実現する国
2. 安全かつ豊かで質の高い国民生活を実現する国
3. 大規模自然災害など地球規模の問題解決に先導的に取り組む国
4. 国家存立の基盤となる科学技術を保持する国

³² 内閣府、科学技術基本計画 <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index4.html>

5. 「知」の資産を創出し続け、科学技術を文化として育む国

土木学会環境工学委員会においても、日本の科学技術全体の取組指針である科学技術基本計画を念頭に、21世紀における指針となる「環境工学委員会将来ビジョン」を定める必要がある。

(2) 環境工学を取り巻く課題の変化と新しい観点

わが国では、公共用水域の水質の保全に関する法律及び工場排水等の規制に関する法律（いわゆる旧水質二法）が施行されてから半世紀が過ぎ、重大な水質環境の悪化は免れたものの、閉鎖性水域では水質の改善がとどこおり、多様な有害物質による土壌や地下水の汚染が生じている。環境省の「今後の水環境保全の在り方について（取りまとめ）」³³では、残された課題に対応するための4つの観点として、

- ① 地域の観点
- ② グローバルな観点
- ③ 生物多様性の観点
- ④ 連携の観点

を挙げている。これらの観点に、低炭素・循環型社会の構築や、人口減少社会への対応、気候変動への適応などを環境工学の新たな観点に加える必要がある。

(3) 低炭素・循環型社会の構築

我が国では毎年4億7千万トンの廃棄物が発生し、特に産業廃棄物の最終処分場では残余期間が7.7年、首都圏では3.4年となるなど、最終処分場の残余容量が少なくなっている。このような中で、循環型社会形成推進基本法では、適正な物質循環に向けて、廃棄物等の①発生抑制、②再使用、③再生利用、④熱回収、⑤適正処分、の優先順位を定めている。同法第15条の規定に基づき、平成15年に定められた第1次循環型社会形成推進基本計画では、経済社会におけるモノの流れを把握するための物質フロー指標と、循環型社会への取組の進捗度を把握するための取組指標を定めた。このうち、物質フロー指標では、平成22年度（2010年度）に循環利用率を約14%に高めることを目標とし、一定の成果を挙げてきた。しかし、ハイテク産業への発展とともに、化石燃料資源や金属資源の利用が増加し、産業廃棄物の排出量は近年増加する傾向を示している。

平成20年に策定された第2次循環型社会形成推進基本計画³⁴では、循環型社会形成の中長期的なイメージを、自然循環と経済社会循環の融合、地域の特性に応じた、資源消費の少ない循環型社会の形成、経済活動における3Rの浸透、廃棄物等の適正な循環的利用、を掲げている。第2次基本計画では、引き続き物質フロー目標としての循環利用率を平成27年度に14-15%に高めることや、取組指標として、廃棄物の減量化、循環型社会形成に向けた意識・行動の変化、循環型社会ビジネスの推進、個別リサイクル法・計画等の着実な実施を挙げている。これらの達成に向けて、国民、NGO/NPO、大学、事業者、地方公共団体、国は、積極的な取り組みが求められている。

³³ 今後の水環境保全の在り方について（取りまとめ）、環境省(平成23年3月14日)

<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13595>

³⁴ 第2次循環型社会形成推進基本計画、環境省、平成20年3月

http://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku/keikaku_2.pdf

(4) 環境関連インフラの老朽化と更新対策

我が国の社会資本ストックは、高度成長期に集中的に整備された結果、今後は老朽化により維持管理費が増加するとともに、施設の更新・再構築が必要となる。さらに、経年化した施設の割合が増加すると、重大な事故や損傷が発生するリスクが高まる。人口の減少は、社会資本の利用率を低下させ、地域の活力の低下やサービス水準の低下を招く。このため、長寿命化やアセットマネジメントにより、維持管理のコストを削減するとともに、施設の健全度を保つ必要がある³⁵。

下水道の管路施設は、昭和40年以降、平成10年に減少に転じるまでは継続的に年間の建設延長が増大した。その結果、現在は供用開始後50年を超えた管路延長は1万kmであるが、今後は急速に増加する。また、上下水道事業を担当する職員数は、過去数十年間減り続けている。水道事業においては、昭和55年に職員一人当たりの給水人口は1,453人であったが、平成21年には2,326人へと増加した。この間に、業務の民間委託が進んだことはあるが、特に小規模の事業者において、技術系職員の確保が困難な状況になっている。社会資本の維持管理・更新が適切に行われるには、社会資本の多くを管理している地方公共団体の技術力、マネジメント力、人材力が備わっていることが必要である。しかし、市町村においては、技術系の職員を確保することができず、外部委託している結果、点検巡視が十分に行われていない場合もある。また、施設の老朽化の度合いや、施設更新に必要な資金を都道府県の約4割、市町村の約7割が把握していない。このような状況を招いている原因は、予算や技術系職員の不足だけでなく、危機感が不足している自治体もある、と指摘されている³⁵。

(5) 水循環基本法

水循環基本法は、平成26年3月27日に衆議院で可決し、4月2日に公布、7月1日から施行された³⁶。同法は、前文において、水は生命の源であり、地球上を循環しながら大気や土壌などの自然的構成要素との相互作用を通じて、人と生態系に多大な恩恵を与えてきたとしている。また、これによって、人々の生活の潤いや、産業や文化の発展に重要な役割を果たしてきた。しかし、人口集中や産業構造の変化、地球温暖化など水循環に変化を及ぼす可能性のある因子が増大していることから、健全な水循環を維持し、または回復するための施策を包括的に推進してゆくことが不可欠であるとしている。そのために、水循環基本法では、第1条目的において、水循環に関する施策について、基本理念を定め、国、地方公共団体、事業者及び国民の責務を明らかにし、水循環に関する施策の基本となる事項を定めるとともに、水循環政策本部を設置することで、水循環に関する施策を総合的かつ一体的に推進することとしている。

同法に基づいて、国土交通大臣が水循環政策担当大臣に指定され、内閣に水循環政策本部が設置された。同法は、これまで各省の所掌事務に応じて、個別に行われてきた水資源に関する施策を、国全体で整合性のあるものとし、さらに水資源の重要性を広く国民に知らしめる役割を有している。今後は、水循環基本法に基づいて定められる水循環基本計画の策定において、有識者としてのコメントを求められることが想定されており、土木学会環境工学委員会においても、個別の会員の有識者としての貢献に加えて、委員会としての貢献が期待されている。

³⁵ 今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について（答申）、国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会、平成25年12月

<https://www.mlit.go.jp/common/001023147.pdf>

³⁶ 水循環基本法について、国土交通省、平成26年8月 <http://www.mlit.go.jp/common/001048585.pdf>

3. 2 環境工学委員会の将来ビジョン

(1) 環境工学委員会の将来ビジョン

将来の日本の社会が直面する上記の課題と、世界の社会経済の変化がもたらす人類と生態系の危機に直面し、土木学会環境工学委員会では以下の将来ビジョンを定める。

【大規模災害や気候変動への適応と人口減少社会における環境インフラの維持】

人口減少や環境関連の社会インフラの老朽化が進むなかで、地震・津波や集中豪雨などの大規模災害や、気候変動による様々な影響により市民の生活と安全が脅かされることのない社会を構築する。そのため、市民が必要とする環境関連の社会インフラによるサービスが適切な対価をもって持続的に提供されるように、調査研究、技術開発、人材の育成、情報の普及や提言などに常に積極的に取り組む。

【循環型社会の構築と地球規模の課題への取り組み】

限りある資源と地球の環境容量を意識して、循環型社会の構築に向けた努力を継続する。

【情報発信の強化と国際協力・貢献】

日本の経験と現在の国土環境や環境技術に関する情報を常に海外に発信し、また世界の環境と開発に関する議論の動向に常に注視する。アジアをはじめとする世界の国々との交流や協力を通じて、地球規模の課題や世界共通の環境に関する課題解決に貢献し、世界的な目標の達成に寄与する。

(2) 将来ビジョン実現のための環境工学委員会の取り組み

上記の環境工学委員会の将来ビジョンを実現するため、環境工学を専門とする委員会として、以下の取組を積極的に推進する。

- ① 循環型社会と安全で住みやすい国土の形成を目指して、国土環境のモニタリング・改善、汚濁負荷の低減、リサイクル技術の開発、環境関連社会インフラの機能向上に関して、新しい環境工学技術の研究・開発と、それらにつながる革新的な基礎研究に取り組む。
- ② 人口減少などの社会経済の変動や、環境関連インフラの老朽化など、近い将来確実に起こる課題に適切に対処するため、技術とアセットマネジメントなどの経営手法を一体とした研究開発を進める。
- ③ 自然災害や気候変動など、不確実性が高く、その一方で甚大な影響をもたらす事象に対して、関連分野との連携を深めつつ予測技術の改善に努めるほか、最新の科学に基づいた影響予測結果を活用して、環境工学が果たすべき役割を検討し、必要な研究を推進するとともに、広く行政や市民に知らせる。
- ④ 上記の研究・開発を通じて、学生・社会人を問わず、人材の育成に努める。
- ⑤ 上記の取組に関して、関連する学会、行政機関、企業、海外の学術団体などと連携し積極的な情報の交換と、協力体制の構築に努める。

4. 分野別の課題と将来の取組

4. 1 水道

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

水道は、国民の健康で文化的な生活を守る上で最も重要な社会インフラ施設であり、衛生的な飲料水の供給のみならず、生活用水の供給や産業活動の維持発展の上で重要な役割を果たしている。わが国における近代水道の黎明期において水道条例が制定（明治 23 年）され、地方公共団体による整備と経営の原則、ならびに公益優先の方針が定められた。この方針は現行の水道法（昭和 32 年制定）にも引き継がれ、水道事業の整備と経営の主体は原則として市町村とされており、現在に至るまで、簡易水道など小規模の事業者が数多い状況にある¹⁾。また、各水道事業（簡易水道事業を除く）には地方公営企業法が適用され、企業会計原則のもと料金収入に基づいた経営が行われている。

わが国の水道の普及期である昭和 30～40 年代においては、急速な産業の発展と都市への人口集中により、水道水源の不足および水質汚濁の両面で重大な課題を抱えた。前者に対しては水源開発の促進による安定した水源確保が、後者に対しては水道水質基準の制定（昭和 33 年）や水質汚濁防止法の施行（昭和 45 年）による規制等が行われた¹⁾。

成熟期を迎えたわが国の水道では、平常時のみならず災害時も安定的な供給を確保するために、水道施設の耐震化および水源事故危機管理対策が推進された。とりわけ前者は平成 7 年の阪神・淡路大震災を契機に平成 9 年に「水道の耐震化計画策定指針（案）」が策定され、平成 20 年には「水道の耐震化計画等策定指針」として更新、各水道事業体による耐震化施策の計画的推進を求めた。また、各水道関係団体と連携の下で、「水道施設・管路耐震性改善運動」（平成 20-23 年度）等が実施されている。折しも、平成 23 年 3 月の東日本大震災においては、ダクタイル鉄管の耐震継手管路への被害は発生せず、被災した各水道事業体について管路の耐震化率が高くなるほど被害率が低減する傾向が確認された²⁾。しかしながら、平成 24 年度末の時点で、全国の水道施設のうち基幹管路の耐震適合性は約 33.5%、浄水場の耐震化率は約 21.4%、配水池は約 44.5%に留まるのが現状である³⁾。

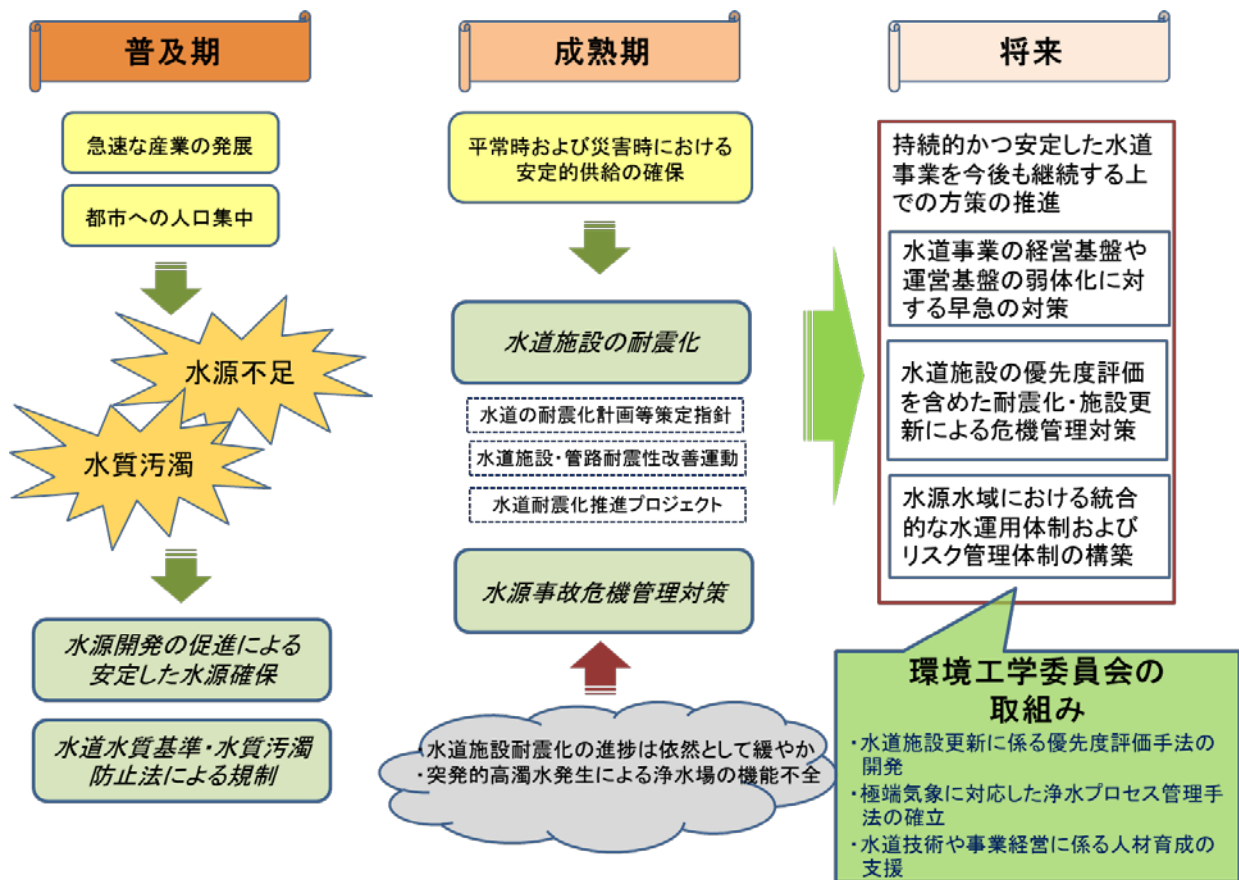
(2) 将来、重要となると思われる課題および取り組みの方向性

持続的かつ安定した水道事業を今後も継続する上で、水道事業の経営基盤や運営基盤の弱体化に対する早急の対策が求められる³⁾。この主たる要因として、人口減少等に伴う料金収入の減少、大量退職による技術者不足、世界的なエネルギーコストの上昇傾向が挙げられる。殊に、中小規模の事業体においては財政悪化および人材不足が深刻な状況にあり、アセットマネジメント手法の普及や広域化・事業統合の推進、省エネ機器による施設更新、さらに水道技術や事業経営に関する人材育成が喫緊の課題である。

これと並行して、危機管理対策のさらなる推進が重要である³⁾。水道施設の耐震化については、各事業体において老朽化施設や管路の更新に併せての実施が実情であって、依然として進捗は緩やかである。アセットマネジメント手法とマッピング技術を組み合わせ、将来的な大震災等の発生に際して脆弱となる箇所を抽出したうえ、優先度の高い順に施設更新を進める手法を確立することが望まれる。水道水源における課題としては、水源事故や藻類由来の異臭味障害などに加え、近年、集中豪雨に伴う突発的な高濁水の発生により、浄水場の機能が不全となる例が散見される。将来的な気候変動によって、国内の水源水域での極端気象の増加や、水温上昇に伴う障害生物の増殖などによる水源水質の劣化が懸念される。水関連行政の一元化等を通じた、水源水域における統合的な水運用体制およびリスク管理体制の構

策を考慮すべきである。また、各々の水道事業者では水安全計画の策定によるリスク管理が有効であるものの、現在までの策定率は10%未満に留まる³⁾。策定の障壁となっている水源水域のリスク因子同定や、浄水処理過程での除去能力評価に関する手法の確立が必要である。

以上、わが国の水道が抱える将来的な課題と取組みの方向性をふまえ、土木学会環境工学委員会が取り組むべき課題として、①水道施設更新に係る優先度評価手法の開発、②極端気象に対応した浄水プロセス管理手法の確立、③水道技術や事業経営に係る人材育成の支援を提案したい。①については、これまでに大規模の水道事業者が個別に検討を行った事例はあるものの、汎用性のある手法としては確立していない状況である。環境工学委員会は、日本水道協会等と連携し、アセットマネジメントや水道管路等マッピングのノウハウを持つ産学と複数の水道事業者による研究体制を構築し、他の事業者にも適用可能な手法を開発することが望まれる。さらに、同手法は下水道分野における応用と展開も期待できよう。②については、突発的な高濁度原水の発生に対応した濁度処理能力の強化のみならず、浄水処理プロセス全体の最適化、すなわち、浄水処理の各工程における除去能力、発生した浄水汚泥の処理能力、原水取水停止時における配水継続能力等のバランスを考慮した、システム全体の最適化が求められる。環境工学委員会は、浄水処理やプロセス管理等を専門とする産学官と水道事業者との協同によって、とりわけ高濁度原水の対処に苦慮している中小規模の事業者への適用を前提とした手法を確立することが望まれる。③についても、産学官が連携して取り組む必要があり、環境工学委員会がその要となることが求められる。具体的には、人口減少期の事業経営をテーマとした、他の土木インフラ部門とのワークショップの共催等を通じて、大学教員、学生、事業者職員や民間企業従事者に対する啓発の機会を提供することが挙げられる



4. 2 流域管理・下水道

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

1958年の新下水道法の制定時には、下水道の目的は「都市の健全な発達及び公衆衛生の向上に寄与する」とされており、トイレの水洗化や水系伝染病対策を主たる目的としていた。その後、高度経済成長期には深刻な水質汚濁への対応が喫緊の課題となり、1970年には「公共用水域の水質保全に資する」ことが下水道の目的に追加され、産学官を挙げて取り組みが進められた。下水道の施設整備は、高度経済成長期以降、急速に進められ、その施設ストックは、管路延長は約45万km、下水処理場は2,141箇所（H24年度末現在）と膨大なものとなっている。他方、合流式下水道の改善や施設の耐震化の必要性、富栄養化対策としての高度処理の遅れなど、依然として下水道ストックの質的な課題も残っている。

公共水域における水質改善を実現するためには、流域全体での取り組みが重要であるが、わが国では流域別下水道整備総合計画（以下、「流総計画」）が早くから水質改善の推進力となってきた。流総計画は、下水道の基本計画という枠組みを超えた流域水管理（水量と水質）の一端を担う先駆的な計画制度であったが、発生負荷の流出特性、汚濁解析手法の構築、水域内での内部生産機構の解明や富栄養化予測モデルの発展などの研究分野の進展に貢献した。さらに具体的な対策としての下水の高度処理技術や、工場排水処理、汚泥資源・処理水の再利用技術の開発等、多くの研究開発も進められた。2005年には下水道ビジョン2100が策定され、流域における水循環・資源循環の基本インフラとして下水道を位置づける提案がなされた。

一方、地球環境対策や災害対策も重要な課題として認識されるようになった。温暖化ガスの排出抑制のため、窒素除去プロセスや焼却プロセスからの亜酸化窒素排出量が評価され、また、排出削減の方法も検討された。省エネルギーに加え、バイオマスの活用等によるエネルギー回収も積極的に進められている。

(2) 将来重要となる課題とその解決に向けた取り組み

下水道整備などにより、有機物、窒素・リンなどの除去による汚濁対策が効果を上げ、その結果、都市環境は大幅に改善された。一方で、流域管理において下水道の果たすべき役割は、微量化学物質の除去、エネルギー効率の改善、下水中の有用資源の循環利用等、いっそう大きくなっている。

微量化学物質による水質汚濁源は、特定の工業排水等から医薬品・日用品などに拡大しつつあり、特に大都市圏ではその管理が重要な課題となりつつある。さらには病原ウイルス・薬剤耐性菌などによるヒトの健康に対する潜在的リスクの増大も懸念されるようになっている。これらへの対応として、従前の水質汚濁対策と同様に、個別の排出源への対応から流域全体での対策が望まれる。既に下水道が普及した都市域では、新たなリスクに対しても下水道を拠点に制御することが有効となる。また、これにともなって、合流改善対策や再生水利用のためのリスク評価手法の確立や、活性汚泥処理や高度処理による有害化学物質の処理機能の向上、放流先の生態系への影響低減機能の向上など、新たな研究開発も必要となる。

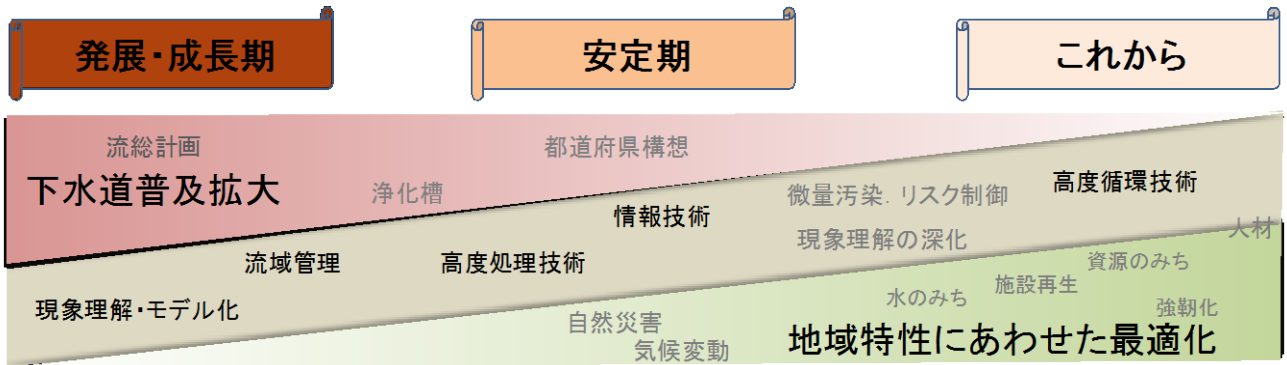
また、現在、日本の電力の0.7%程度が下水道関連で消費されていると言われる。海外へのエネルギー資源の依存度や、東日本大震災のような広域災害が再来する可能性を考えれば、これ以上エネルギー消費を増やす方向に進むことは難しい。微量化学物質対策や新興水系感染症への対策が仮にエネルギー消費の増大を招くのであれば、その分のエネルギーは省エネルギーやエネルギー回収によって賄う必要が

ある。そのためには、バイオガス回収技術の更なる高度化や、annamox 技術のような省エネルギー型窒素除去技術の確立が期待される。

また、日本国内における地域差を、これまで以上にしっかりと意識すべきである。大都市に適した技術は人口の少ない地方都市に対して必ずしも適切であるとは限らない。放流先の汚濁負荷の許容量についても詳細に検討し、地域特性にあった流域水質管理を行う必要がある。実際に、都市の水管理システムの再編や、よりきめ細かな栄養塩管理・物質循環系の健全化のニーズも高まりつつある。そして、その対応として、新たな影響評価手法の確立、新たな処理技術の開発などが望まれると考えられる。

一方、下水道施設は他のインフラと比べても急速な老朽化の進行が予想されている。例えば下水道管路では、標準的耐用年数の 50 年を超過した割合は、現在は 2%程度に止まっているが、今後はその比率が急激に増加し⁴⁾、それにともなって老朽化診断や補修・更新の需要が増加する。反面、施設管理費や下水道部局の職員数は減少傾向にあり、今後は下水道分野においてもアセットマネジメントの普及に向けた取り組みや、下水道技術に関する人材育成、技術継承が必須課題である⁵⁾。

流域管理・施設維持管理とも、要求が増える一方であり、それに対して人口減少や財政的な制約が課題として加わる。2014 年 7 月、国土交通省により策定された「新下水道ビジョン」において描かれている下水道の将来像は、こうした困難な状況を乗り越えてさらに進化・成熟化し、持続的発展が可能な社会の構築に貢献する「循環のみち下水道」である。技術開発や人材育成を通じてそれを実現させるために、産官学の連携体制を再構築していくことは、今後の環境工学分野における重要な課題である。また、課題が増えていく中で情報技術の進歩は明るい材料である。流域管理にせよ施設維持管理にせよ、あるいは災害への対応にせよ、情報技術を積極的に活用すべきである。環境工学委員会は迫り来る課題に対して柔軟な発想で技術開発や人材育成に取り組めるよう、研究教育を促進するべきである。



4. 3 消毒技術と下水処理水の再利用

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

水の消毒は、病原微生物の除去・不活化を目的とし、主に遊離塩素の注入によって行われている。現在までに顕在化した課題は、大きく分けて次の3つである。すなわち、①消毒剤耐性微生物の出現、②消毒副生成物の問題顕在化、及び③残留塩素による生態系への悪影響に対する懸念、である。①消毒剤耐性微生物の出現に関しては、1993年のアメリカ・ミルウォーキーや1996年の埼玉県越生町での水道水を介した集団感染を契機として水道原水のクリプトスポリジウム汚染が問題となり、主に水道施設での対処が検討・適用（濁度0.1度以下）されてきた。現在では、水資源に乏しい国や地域を中心に下水処理水の再利用が広く普及しており、人間が再利用水に触れる可能性がある用途（水洗用水や親水用水）では病原微生物による感染リスクを許容レベル以下に抑えることが求められることから、消毒技術の果たす役割がさらに大きくなりつつある。②消毒副生成物の問題顕在化に関しては、塩素消毒等によりトリハロメタンなどの発がん性を有する消毒副生成物が生成することが明らかにされ、水棲生物及び人体に継続的に悪影響を与えることが懸念された。日本では、浄水処理においては塩素消毒が義務とされていることから、水道水中の消毒副生成物の低減は、高度処理などによる消毒副生成物前駆体の除去が主な対策であった。下水処理水の直接飲用利用が意図される場合には、病原微生物に加えて消毒副生成物によるリスクが厳格に管理される必要がある。③下水処理水中の残留塩素による生態系への悪影響に対する懸念に関しては、抜本的解決の手法として、排水が生態系に与える影響を水棲生物を使って評価するWhole Effluent Toxicity (WET) が注目されている。WETでは残留塩素濃度に関わらず放流水が有する毒性を一括して評価することが可能となる。現在は日本版WETの適用方法が検討されている段階にある。

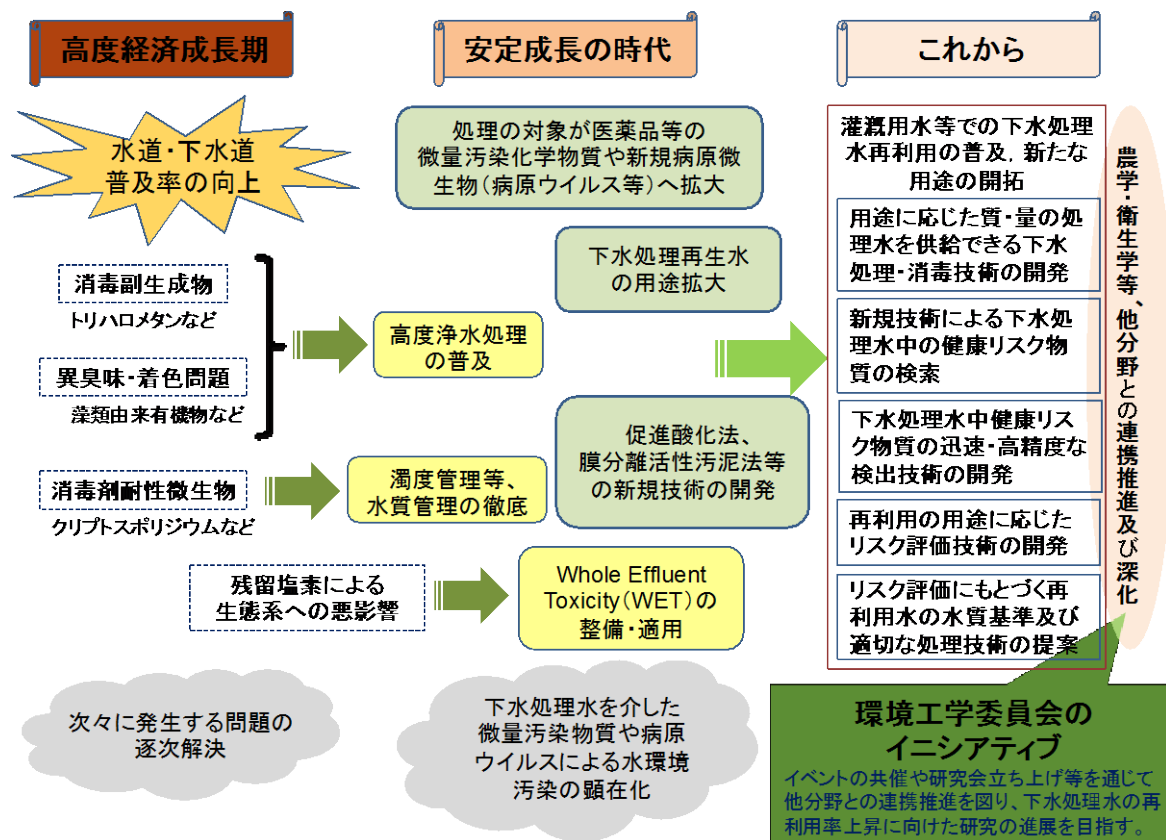
(2) 将来的に重要となる課題と今後の取り組み

我が国の水利用量は横ばいないし微減傾向にあるものの、水資源賦存量も長期的に減少傾向であり、利水安全度が低下し、供給力が不安定になりつつあることが指摘されている⁶⁾。気候変動に伴い降水の極端化が予測されていること、さらには新たなダム建設が難しい社会事情を考えると、都市の代替水源としての下水処理水の重要性は将来的にますます高まってくると考えられる。現在までに実用化されている用途（河川環境維持水、修景用水、融雪用水など）での再利用は今後も普及を進めていくべきである。ただし、再利用システムの導入や維持に係るコストが障害となることが予想されるため、個別の建物や地域での水利用効率の目標値を設定し、その実現をサポートする制度などが必要になるかもしれない。膜処理技術等の処理技術の革新による低価格化、省エネルギー化が望まれることは言うまでもない。

下水処理水の再利用率をさらに増加させるには、水道原水としての利用がターゲットとなる。シンガポールなどでの実用例はあるものの、この用途に対しては心理的なハードルが依然として高い。また、想定外の事故が発生した場合の被害は計り知れない。そこで注目すべきは、処理水が直接人間の口に入ることがない農業利用である。高度処理によって窒素やリンなどの栄養塩を除去しなくて良い点も都合が良い。農業生産の場では過剰施肥とならないように施肥量の調整が必要となるが、その一方で、現在そのほとんどを輸入に依存する肥料や肥料原料の節約にもつながる。特に、大量の灌漑用水を必要とする水稲栽培での再利用への期待は大きい。食用の水稲については水道水と同様に消費者の「安心」の問題があるが、近年、米余りの対策として推奨されている飼料用水稲の栽培では、家畜の堆肥が利用され

ることも多いため、下水処理水が受け入れられる素地はある。ただし、処理水に含まれる種々の毒性物質（重金属、消毒副生成物、残留医薬品類など）が家畜の健康を害したり、食肉に蓄積して消費者が健康リスクに曝されることも考えられる。この懸念も含めて、都市と農村を巻き込んだ再利用の実現のために、水稻栽培や畜産、食品衛生に関わる農学分野と密に連携し、水棲生物と動物・植物の毒性物質への反応性の違いなどを考慮した上で、上述した WET の有効性・汎用性を実証していく研究が求められる。

土木学会環境工学委員会としては、イベントの共催や研究会立ち上げなどを通じて、農学分野を含む他分野との連携の推進に取り組むことが望まれる。衛生学分野、農学分野、工学分野の研究者や実務者が集まり研究情報や技術情報を交換することで、消毒技術及び下水処理水の再利用に関する新たなアイデアが生まれ、処理水の再利用率（平成 23 年度末で 1.3%）が上昇することが期待される。農学分野でも再利用の必要性や安全性に関する理解が進み、上述したような下水処理水の農業利用における新たな用途が開拓されることは、環境工学研究のモチベーションを高める効果もある。具体的には、①農業生産による利潤に見合ったコストで、用途に応じた水質・水量の処理水を供給できる下水処理・消毒技術の開発、②①の技術による処理水中の健康リスク物質、特に農作物に蓄積しやすいリスク物質の検索、③②で検索されたリスク物質の処理水からの迅速・高精度な検出技術の開発、④農作物を介した健康リスク評価技術の開発、そして、⑤リスク評価にもとづく再利用水の水質基準（または、適切な処理技術）の提案、に関わる研究が加速されるであろう。これらの研究を支援し、国土交通省や農林水産省などの協力を得ながら研究成果の社会実装につなげることも、土木学会環境工学委員会に期待される取り組みである。



4. 4 分散型排水処理

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

高度経済成長と人口増加による河川等の水質汚濁への対策として、下水道設置の費用対効果が低い地域における下水道を補完する個別分散型の下水処理施設である浄化槽が開発され、普及してきた。浄化槽の製造から施工、維持管理に至る各段階は1983年に制定された浄化槽法により規制され、2000年の浄化槽法改正により、トイレの排水のみを処理する単独処理浄化槽の新設が禁止され、「浄化槽」とは生活雑排水も併せて処理する合併処理浄化槽のことを指すこととなり、生活排水への対策が強化された。近年では、湖沼の富栄養化防止に対応可能な窒素・リンの高度処理が可能な嫌気・好気循環処理を行う浄化槽も普及してきている。

平成25年度末における全国の污水処理施設の処理人口1億1,216万人のうち、浄化槽による処理人口は1,121万人に上る。污水処理人口普及率は88.9%に達したが、未だに約1,400万人が污水処理施設を利用できない状況にある⁷⁾。污水処理人口普及状況は、大都市と中小市町村で大きな格差があり、特に人口5万人未満の市町村の污水処理人口普及率は75.6%にとどまっており⁷⁾、課題となっている。

一方、個別分散型の污水（下水）処理施設である浄化槽の性能を適正に維持するためには、保守点検、清掃、法定検査等を確実に実施しなければならない。しかし、法定検査の意義や浄化槽法に対する理解が不十分であることや、検査費用に対する負担感により、浄化槽法定検査実施率の全国平均は30.4%と低い状況にあり、浄化槽をいかに適正に管理・維持するのが課題となっている。

(2) 将来、重要となると思われる課題と対策

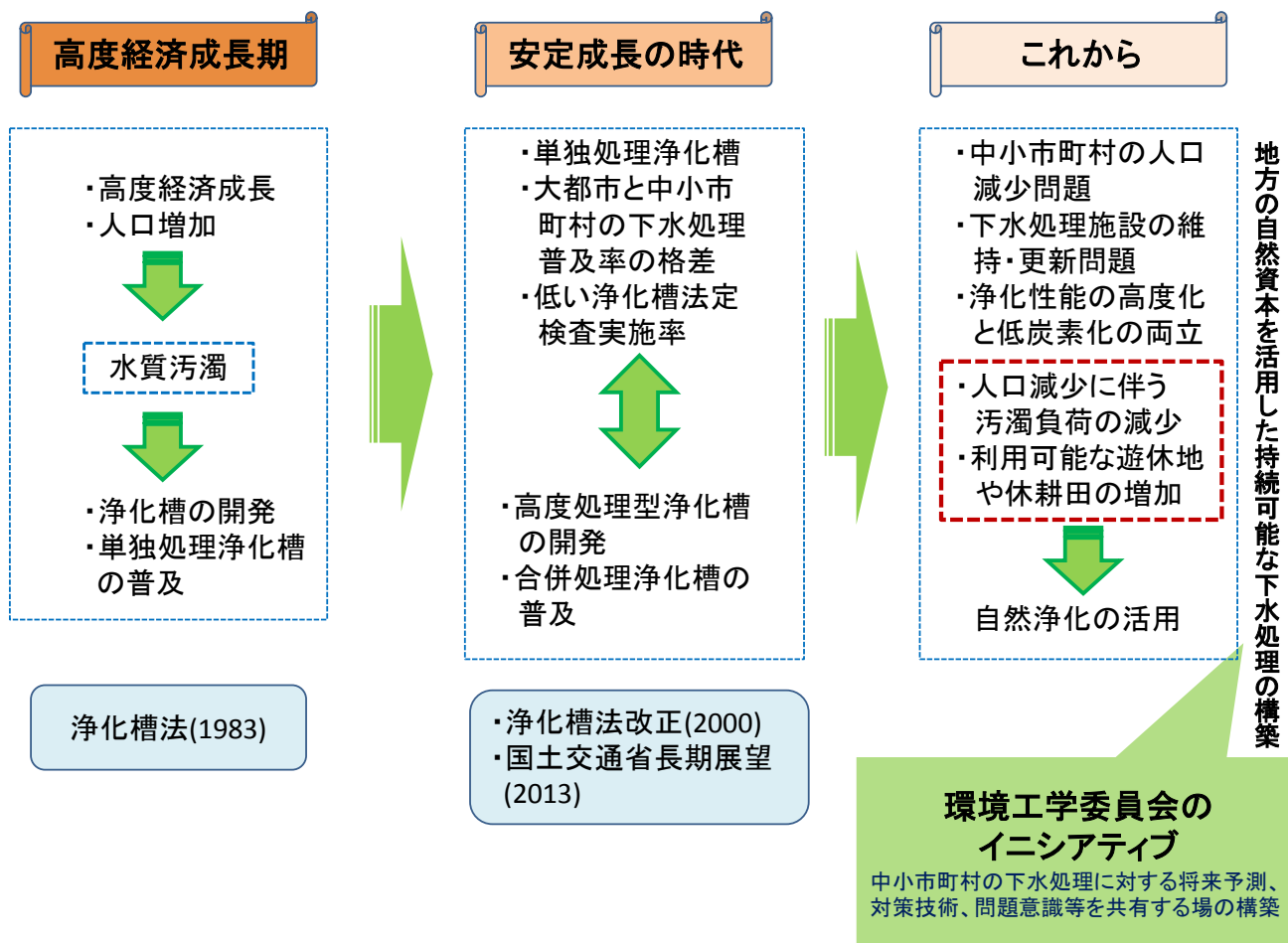
国土交通省の長期展望⁸⁾によれば、総人口の減少にともなう市町村レベルでの人口減少率は、小規模な市町村ほど高くなることが予測され、1万人以下の人口の市町村の人口は2050年には2013年の半以下になる。人口規模・密度の低下は住民一人あたりの行政コストの増加につながり、浄化槽や下水道施設の維持・更新が難しくなることが予想される。

このように、人口減少により、従来の污水処理施設の維持・更新が難しくなる一方で、汚濁負荷量は減少し、遊休地は増加する。耐久年数を迎える浄化槽や下水道施設の更新においては、50年先の状況を考慮し、適用する技術の適切な選択やダウンスケーリングの計画が重要となる。利用可能な遊休地や休耕地が増加することや排水処理における使用エネルギーの費用対効果を考慮すると、人工湿地等の自然浄化技術を適用することや既存の活性汚泥法や膜分離法と自然浄化技術を組み合わせることにより、高度な水質浄化性能の維持と低エネルギー化の両立を図る方策が有効と考えられる。

そのためには、浄化槽法の改正により個別分散型の下水処理施設として適用できる技術の枠組みを拡大することや自然浄化技術に対するガイドラインの制定が必要である。また、現在の浄化槽でも法定検査実施率が低いことが問題となっており、分散型排水処理施設を適正に管理するための制度の見直しも必要である。さらに、耕作放棄地となっている休耕地に暗渠や水路が備わっていることを考慮すると、休耕地は自然浄化の場への転用に有利であると考えられる。そのような土地利用目的の転換のためには、水田を管轄する農林水産省や分散型排水処理施設を管轄する環境省と環境工学委員会の連携が必要となる。これらは特に行政機関の理解と行動を必要とするため、環境工学委員会として、まずは環境省、農水省、中小市町村の行政担当者を巻き込んだ勉強会を立ち上げ、中小市町村の社会インフラ（下水処理システム）に対する将来予測、対策技術、問題意識等を共有する場を確保し、具体的な対策に取り組む

ことが求められる。

その対策の方向性は、50年先の中小市町村の将来状況を十分に考慮すれば、大都市とは異なるものとなるはずである。自然浄化技術の社会実装で先行している欧米諸国での事例等を参考として自然浄化技術の理解を図るとともに、わが国の中小市町村の状況に適した排水処理技術のオプションとして自然浄化技術の開発や周辺技術と組み合わせたシステム開発に取り組むべき時に来ている。



4. 5 産業廃水処理

(1) 産業廃水処理分野における、過去から現在までの課題と取り組みの状況

我が国では、1956年に確認された廃水中の水銀を原因とする水俣病の発症、1960年代前半における都市河川の深刻な有機汚濁等の現状を受け、1970年に水質汚濁防止法が制定、公布され、「人の健康に関する基準」として8項目（現在28項目）、「生活環境の保全に関する基準」として14項目（現在15項目）の排水基準が制定された。1978年には、産業廃水だけでなく生活排水なども含めた流入する汚濁負荷の総量を削減の対象とする水質総量削減制度が導入された。総量削減の対象項目も当初はCODだけであったが、2001年からは、富栄養化の原因となる全窒素・全リンが新たに指定されている。このような背景のもと、産業廃水処理の分野では、主に廃水中の有機物、栄養塩、有害物質の分解・除去が重要な課題である。有害物質（微量化学物質、重金属等）については、「人の健康に関する基準」として指定された物質が、当初の8項目から28項目にまで増えたことから解るように、過去に有害性を認められていなかった物質でも、科学の進展により有害性を持つことが明らかになることもあり、この傾向は今後も継続すると考えられる。このように産業廃水処理技術は、廃水中に含まれる有害物質の多様化への対応が求められてきた。産業廃水中の有機物や栄養塩類の除去に関しては、生物処理法が広く用いられているが、膜分離法などの物理化学処理と組み合わせることにより、その機能の向上が図られてきた。また有害物質は、膜分離法、重力沈殿、酸化還元法、中和法、吸着法、触媒法、電気分解法など多くの物理化学処理法の組み合わせにより除去されている。このように、多様化する産業廃水の処理に対しては、新技術の開発とともに、複数の要素技術のシステム化を中心に対応を重ねてきた。

2000年には循環型社会形成推進基本法が制定、公布されたが、産業廃水処理分野においても、循環型社会の形成に貢献することが求められている。産業廃水処理に関連した物質や資産には多くの資源化の可能性もある。そこで、水の再生利用、資源・エネルギー生産、水環境負荷低減・修復等の観点から、産業廃水処理を新たな資源の創生技術とすることが重要である⁹⁾。現在のところ、メタン発酵法や汚泥からのリン回収など、ほぼ確立された技術もあるが、これに加えて、水素回収、微生物燃料電池、廃水からのメタル回収技術などの実用化が注目される。

アジア、アフリカの多くの国々では、急激な人口増加と都市化が進み、都市部のインフラ整備の不足が深刻化している。そのため、未処理または処理の不十分な下水や産業廃水が水環境に排出され、水質汚濁の原因となっている。また、都市部において、ミレニアム開発目標の「安全な飲料水へのアクセス」の人口割合が低下している国もある。このような国々に対して、日本の産業廃水処理技術を移転し、国際貢献をすることが必要である。しかしながら、国内の産業廃水処理技術は、発展途上国では、オーバースペックな装置となり、コスト面で不利である¹⁰⁾。そのため、ODA等を通じて建設された処理施設が、運用されずに放置されていることも多くある。財政基盤の脆弱な途上国に日本の産業廃水処理技術を普及させていくためには、今ある日本の技術をそのまま移転すれば事足りるのではなく、地域の経済構造、社会構造等に適した、途上国仕様の“適正技術”＝低コスト・簡易型の処理技術の創成が求められる。

(2) 将来重要となる課題とその解決に向けた取り組み

産業廃水処理に関するこれからの課題として、①水質汚濁、②低炭素技術、③資源循環、④発展途上国の4項目に整理した。

①水質汚濁：現在、水環境中で分解困難な汚染物質（医薬品類（PPCPs）、有機フッ素化合物類（PFCs）等）の蓄積が問題になっている。生物処理や物理化学処理による有害物質の処理機能の向上に関する新

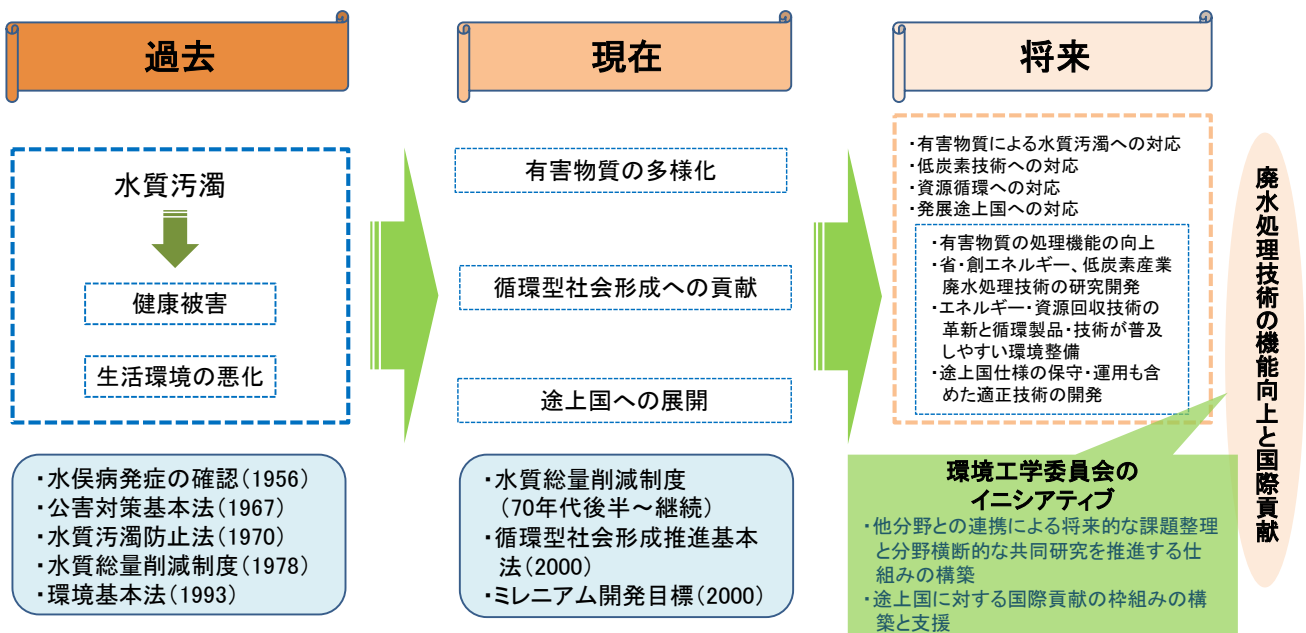
たな研究開発を推進する。

②低炭素技術：エネルギー効率が高く、廃棄物の発生が少ない、省・創エネルギー、低炭素産業廃水処理技術の研究開発を推進する。

③資源循環：産業廃水からの水再生技術やエネルギー・資源回収技術の革新を推進する。産業廃水処理から得られた循環製品や技術等において、標準化すべきものについては適切な標準化活動（JIS、ISO等）を実施するなど、普及しやすい環境を整備する⁹⁾。

④発展途上国：途上国仕様の適正技術の開発を急ぐとともに、ICTの応用なども踏まえ、保守・運用も含めた技術開発を推進する¹⁰⁾。

今後、以上のような課題を解決するためには、有害物質の処理、エネルギー・資源回収、低炭素化、水の再生利用などを念頭に、循環型社会の形成をも視野に入れた、分野横断的で革新的な産業廃水処理技術の機能向上に関する研究・開発が必要である。また、途上国の水環境改善を通じた国際貢献を進めるために、途上国の経済構造、社会構造を理解したうえでの、保守・運用も見据えた途上国仕様の適正技術の創生が望まれる。環境工学委員会としては、環境工学はもとより広く他分野との関係を構築し、連携を取ることで、将来的な課題整理と分野横断的な共同研究を推進する仕組みの構築に寄与することが求められる。また途上国に対する積極的な国際貢献の枠組みの構築とその支援なども必要である。



4. 6 水環境

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

明治期の産業の近代化と振興、第二次大戦後の復興により、産業活動に起因する水質汚濁がヒトの健康被害や水産被害などをもたらした。それに対して、昭和 42 年（1967 年）の公害対策基本法制定、昭和 45 年（1970 年）の水質汚濁防止法制定、昭和 46 年（1971 年）の環境庁設置といった対応が進められた。平成 5 年（1993 年）には環境基本法が制定された。

水質汚濁防止法の施行により有害物質使用量削減等の工程改善や排水処理の徹底が進み、ヒトの健康被害をもたらす有害物質の問題は改善が進んだ一方で、特に人口・産業が集中する閉鎖性水域における富栄養化による赤潮の発生や、貧酸素化による青潮の発生など、改善が遅れている問題もある。閉鎖性海域における総量規制は 1970 年代後半から実施され、現在は平成 26 年度を目標年度とした第 7 次の総量削減基本方針が示されている。また点源汚染対策の進捗とともに面源汚染による汚濁負荷の相対的寄与が大きくなってきたことから、平成 17 年（2005 年）に面源汚染対策を講じるように湖沼水質保全特別措置法が改正された。

沿岸域では、富栄養化や貧酸素化以外にも、埋め立てに伴う浅場環境の減少といった古くからの問題に加え、浚渫土砂の処分地確保、ダイオキシン類やトリブチルスズといった有害化学物質の底泥への蓄積等の問題が生じてきた。有害化学物質の問題に対しては新たに策定したガイドラインにもとづく浚渫による汚泥除去や原位置処理、有害化学物質以外の問題に対しては、埋め立て地造成による土砂の有効利用や、浚渫土砂を用いた覆砂、干潟・浅場の造成（海の自然再生）、浚渫土砂を用いた窪地の埋め戻しなどが行われている。

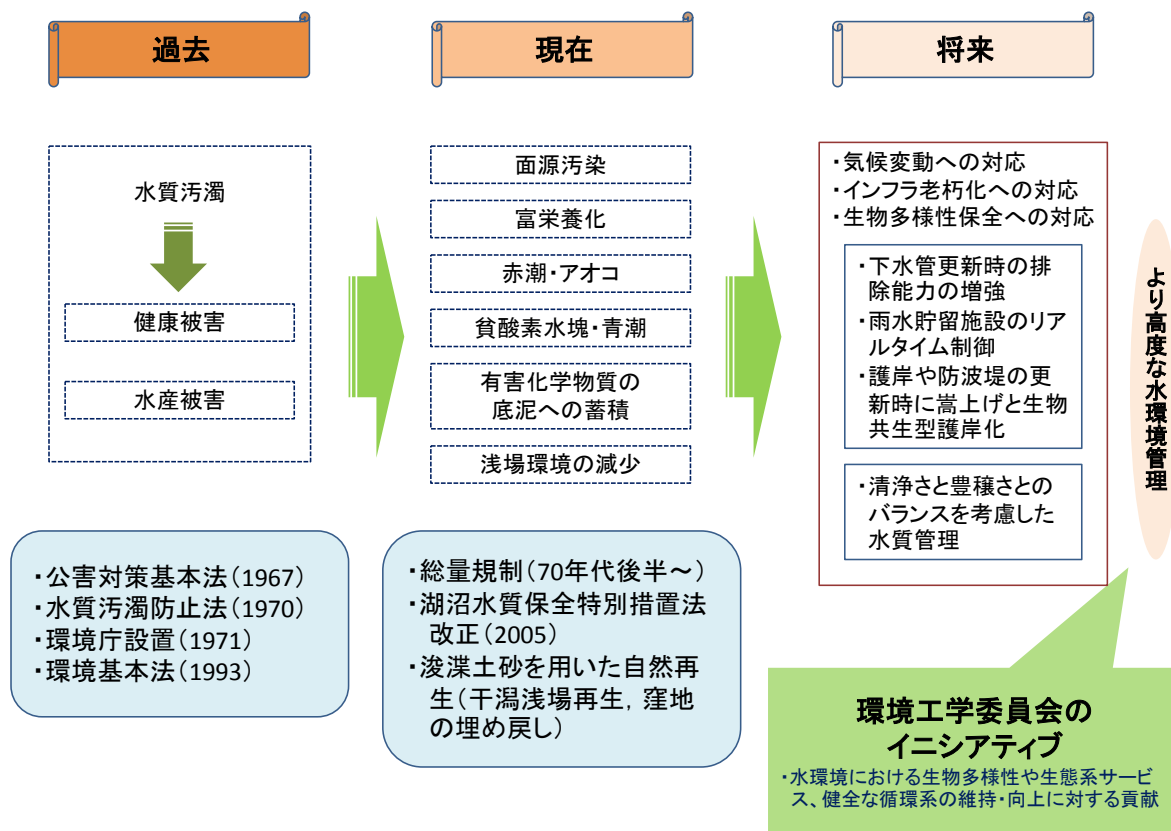
(2) 将来（20 年から 50 年先を想定）重要となると思われる課題と取組

将来重要となる課題として、気候変動への対応や、生物多様性保全への取り組み¹⁾、目標設定やモニタリングの合理化などが挙げられる。

気候変動による豪雨頻度の増加により、直接的な都市浸水被害だけではなく、水環境への土砂流出や未処理排水の流出、水域生態系への水理学的ストレスの増加などを招くことが懸念される。温暖化による水温上昇は水産資源の賦存量や種類を大きく変化させる可能性がある。また、高潮・高波の強大化・頻発化に対する港湾・背後地の適応も求められる。これらの問題に対しては、老朽化するインフラの更新、生物多様性保全にも関連付けた多目的な取組が可能であろう。例えば、下水管更新時の排除能力の増強や雨水貯留施設の高度利用（リアルタイム制御）、護岸や防波堤の更新時に天端高のかさ上げや生物共生型護岸化を実施することなどが挙げられる。これらの取り組みは、下水道や都市内の水路だけではなく河川から沿岸域を含む流域全体に関わることである。気候変動の長期的予測とその不確実性、気候変動に適応するためのインフラ整備のコストと多面的なベネフィットの関係は、今後の意思決定における重要な評価軸となる。

人口減少や経済規模の縮小は、最終的には汚濁負荷の減少による環境改善をもたらすと考えられるが、それに対応した既存施設の運転・管理や監視業務の縮小といった水環境管理の合理化も必要とされるであろう。また、水の化学的性質に重点を置き、より清浄な水を求める努力は大きな成果を挙げてきたが、今後は水質管理と水産資源や生態系保全との科学的な関連付けにより、それぞれの地域特性や需要を考え、清浄さと豊穡さとのバランスを考える必要がある。「生物多様性国家戦略 2012-2020」（平成 24 年

9月閣議決定)には「生物多様性の維持・回復と持続可能な利用を通じて、わが国の生物多様性の状態を現状以上に豊かなものとするとともに、生態系サービスを将来にわたって享受できる自然共生社会を実現する」という長期目標が掲げられている¹¹⁾。また、中央環境審議会による意見具申「低炭素・資源循環・自然共生政策の統合的アプローチによる社会の構築」(平成26年7月)においては「地域ごとの自然環境や人、生活、事業活動の特色に応じて、物質やエネルギーの循環が図られるのみならず、森・里・川・海の連関や健全な水循環等が再構築されるなどして健全な生態系が維持、回復されている。自然の循環の力が上手に利用され、環境への負荷ができる限り少なくなることにより、循環を基調とする経済社会システムが構築され、かつ、自然と人間との共生が確保されている。」と「環境面のビジョン」が描かれている¹²⁾。環境工学委員会は、環境保全という目的から、水・大気の物理的現象とそこで生じる化学反応・生物作用を幅広く取り扱い、様々な環境管理手法・技術の開発を主導してきた。特に水質管理技術は最も大きな成果を上げてきた分野であり、水環境における生物多様性や生態系サービス、健全な循環系の維持・向上に対する貢献は、今後も大いに期待できる。また、排水水質制御に伴う水域での炭素吸収能の変化や、雨水対策に伴う都市排水由来の排熱の変化は、受水域の気候調整機能にも影響を与えると考えられる。将来のより高度な水環境管理のためには、生物群の動態も含めた科学的知見の集積とそれに基づく目標設定手法の開発、社会的合意形成手法の確立とともに、陸域からの負荷をコントロール(削減しすぎないことも含む)する様々なレベルの排水処理技術の確立、簡易な環境モニタリング技術の開発、高度な水底質や生物群集の予測モデルの開発などが引き続き求められる。環境工学委員会は、これまでの研究成果を発展させ、土木学会内の他の委員会や他学協会、行政やNPOとの連携の要として、これらの課題に取り組むべきである。



4. 7 大気・臭気

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

明治以降の近代化によって、特に鉱山やセメント工場などから排出される硫黄酸化物やばいじんによる大気汚染が深刻化した。第二次世界大戦後は、急速な工業発展に起因する産業型大気汚染が引き起こされ、四日市ぜんそくなど、多くの健康被害をもたらした。その後、薪、石炭から石油、ガスへの燃料転換や排煙脱硫などの発生源対策によって、降下ばいじんや硫黄酸化物濃度は低下した。一方、1970年に光化学大気汚染が顕在化し、二次生成大気汚染物質が注目されることになった。この背景には、一次大気汚染物質の低減、自動車の増加、産業活動の活発化などがあると考えられる。1980年代には、酸性降下物や光化学オキシダントの長距離輸送に象徴される汚染の広域化が進んだ。1990年代には都市型大気汚染の改善のために自動車を中心として窒素酸化物（NO_x）対策がとられ、2000年代にはさらに粒子状物質（PM）、揮発性有機化合物（VOC）の対策も強化された。しかし、光化学オキシダントの濃度レベルは依然として高めであり、光化学大気汚染の改善は芳しくない。これには、大陸からの越境汚染に加えて、NO_xとVOCの削減度合いの兼ね合い、地球規模の気候変動による気圧配置パターン変動などが関与していると指摘されている。近年は、微小粒子状物質（PM_{2.5}）による汚染も注目されるようになってきている。大気汚染物質の越境移動については、東アジア地域の経済発展に伴って、特に近年、日本に与える影響が懸念されてきているが、排出量データや移動中の挙動など、まだ不明な点が多く、知見の蓄積が図られている状況である。

臭気問題は、健康被害を伴う大気汚染と比べると人に不快感をもたらすだけとしか認識されず、また感覚的側面を測定・評価する困難さもあり、対策が遅れがちであった。しかし、1960年代に苦情が増大したことから、機器分析による法規制が始まった。当初は畜産農業や製造業からの臭気为中心で、発生抑制策や脱臭対策をとることで改善に向かった。一方、生活環境の向上に伴って、身近な発生源からの都市・生活型臭気が問題となってきた。そのために、臭気を直接嗅覚で評価する嗅覚測定法が1995年に導入された。多種多様な臭気が苦情対象となることから、きめ細かな対策が必要であり、臭気の適切な評価と中小事業場で容易に導入できる臭気対策が求められている。

(2) 将来重要となる課題とその解決に向けた取り組み

光化学大気汚染やPM_{2.5}への対応は喫緊の課題として挙げられる¹³⁾。光化学オキシダントについては、まず人為起源と自然起源の両面から原因物質排出量推計の精度向上が必要である。それを基に将来の汚染物質排出量の変化を反映させた削減シナリオを設定し、都市の気象パターン変動の評価も行った上で、シミュレーションの高度化などを行うことが求められる。PM_{2.5}については、粒子状物質が様々な化学物質から構成される混合物であるとの認識に立ち、粒径と組成の情報を蓄積し、物理化学的な特性や発生源の解明に生かしていく必要がある。また、それらの情報と健康影響との関連性を把握するための長期間にわたる疫学調査も継続的に進められるべきである。さらに、PM_{2.5}は局所的な汚染と広域的な汚染の両側面を持つことから、季節変化や高度分布、地域分布のモニタリングなどに基づいて、発生源や構成要素の把握を行う必要がある。これら光化学オキシダントやPM_{2.5}に加えて、長期的には大気中の種々の有害化学物質の共存による複合作用、それらの生態系への影響、地球の気候システムとの関連性の解明も大きな課題である。そのために、測定、モニタリング、モデリング、発生源把握、疫学的・生態学的知見の蓄積など、幅広い取り組みが必要であると考えられる。越境汚染の改善に向けては、これらに

加えて発生源対策のための具体的な技術支援を行うとともに、政策的働きかけも必要であると考えられる。

臭気問題に関しては、都市部の臭気対策のための小型かつ簡易な脱臭技術の開発、環境臭気をよりの確に評価するための低濃度臭気の嗅覚測定法の確立が求められる¹⁴⁾。また、苦情の発生を未然防止するための環境臭気モニタリングシステムおよびその基盤要素技術でもあるセンサーの開発などが考えられる。さらに、臭気問題は大気汚染や水質汚濁の改善とともに顕在化し、対策が遅れがちであることから、今後の開発途上国の産業発展に伴う問題への技術支援や国際的な学術交流も進めていくべきであると考えられる。

土木学会環境工学委員会として上記の課題に取り組んでいくためには、まず大気・臭気の枠にとらわれることなく、環境に関する様々な問題の相互のつながりと、将来的な変化の方向性を俯瞰的に捉えることが必要であると考えられる。その上で、環境汚染の原因物質、影響の出方、影響要因、影響の時間的・空間的広がりが複雑化・多様化してきている点を認識し、様々な環境問題の中での大気・臭気に関わる問題の位置づけを常に意識しながら具体的な取り組みを進めていくべきであろう。その中では、上に詳述したような科学的知見の集積と徹底した議論に基づく社会への情報発信および問題改善のための行動が求められる。俯瞰的立場で様々な環境問題の関連性を捉えることは、大気・臭気に限ったことではないので、例えば環境工学分野内での学際的な研究交流と意識の共有を図るような機会の設定が、大気・臭気のみならず、環境工学分野全体の底上げとステップアップのために重要であると考えられる。また、一委員会としての立場にとどまらず、国際的な視点も含めて広く環境に関する研究者との関係を構築し、連携を取ることで、分野横断的また国際的な共同研究の実施など、様々な分野間の関係強化とそれに基づく活動の活性化を図ることが望まれる。土木学会環境工学委員会は、視野の広さや相互連携の強みを生かし、課題解決のために意識付けをさらに明確化して先導的な役割を果たしていく必要があると考えられる。

過去

現在

将来

近代化と工業発展

自動車の増加

↓

産業型大気汚染

光化学大気汚染

広域汚染

臭気苦情の増大

- ・燃料転換
- ・発生源対策
- ・機器分析による臭気規制

東アジアの経済発展

生活環境の向上

↓

都市型大気汚染

越境汚染

都市・生活型臭気

- ・NOx、PM対策
- ・VOC規制
- ・嗅覚測定による臭気規制

光化学大気汚染
原因物質排出量推計
シミュレーション等

PM_{2.5}
粒径・組成情報の蓄積
健康影響との関連性把握等

様々な有害化学物質
複合作用の解明
生態系への影響把握等

越境汚染
技術支援
政策的働きかけ等

臭気
小型・簡易な脱臭技術開発
環境臭気モニタリング等

**環境工学委員会の
イニシアティブ**

- ・学際的な研究交流、意識の共有
- ・多分野間の関係強化と活動の活性化

環境問題の相互関係と将来変化の方向性を俯瞰
問題の位置づけを意識しながら具体的に行動

4. 8 廃棄物・資源循環

(1) 当該分野における過去から現在までの課題と取り組み状況

わが国では1900年に汚物掃除法が制定されて以来、廃棄物の減容化と迅速・衛生的な処理を目的に焼却処理と埋立処分が主要な処理方法となった。1970年には廃棄物の処理及び清掃に関する法律が制定されたが、増え続けるごみの量や質の変化、有害物質等への対応に迫られた。特に、ごみ焼却の過程で発生するダイオキシン類、最終処分場の不適正管理問題、産業廃棄物等の不法投棄などが大きな社会問題となり、それぞれ、下記のような取り組みがなされてきた。そして2000年には、循環型社会形成推進基本法の成立により3Rの概念が法制度化され、建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）など各種リサイクル法が制定された。これにより、資源生産性と循環利用率が向上し、最終処分量が低減している。

1) 都市ごみ焼却に由来するダイオキシン類など有害物質の課題への対応としては、燃焼の改善、排ガス処理設備の高度化等に取り組んだ。これにより、都市ごみ焼却施設のダイオキシン類排出インベントリーは、1997年度に比べ、現在は98%削減された。また、都市ごみ焼却施設における高効率発電や、焼却残渣の無害化と有効利用を図るため、廃棄物の熔融スラグ化が推進された。

2) 最終処分場の適正な管理においては、準好気性埋立構造を採用し、埋立層内部の好気化を促すと同時に、遮水工による漏水防止と、浸出水処理による環境汚染の防止がなされてきた。遮水工については漏水検知システムや自己修復機能の開発が行われている。浸出水処理については、焼却率の向上に伴いダイオキシン類や塩類も処理対象に加わり、これらの除去技術が開発されている。

3) 産業廃棄物の不法投棄問題への対応としては、排出事業者責任・罰則の強化がなされてきた。また、有害性が高いため使用禁止となったPCB廃棄物や、有害性の懸念される焼却飛灰の処理も進展している。災害廃棄物についても、阪神・淡路大震災や東日本大震災、頻発する水害の経験を糧に、処理・リサイクルの徹底が進められている。

(2) 当該分野におけるこれからの課題と環境工学委員会の取り組み

1) 将来の課題

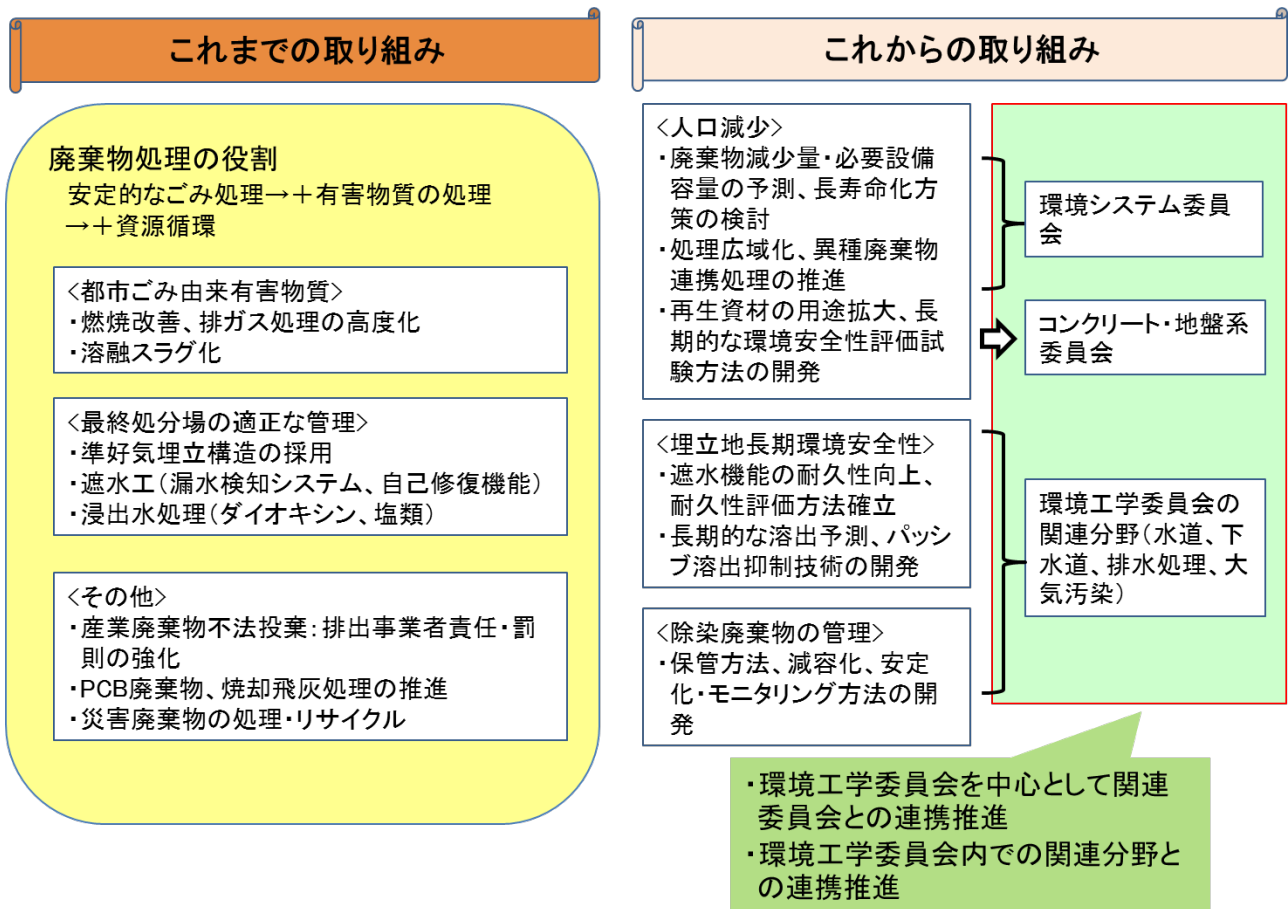
① 2060年に我が国の人口は8,600万人（65歳以上は40%）となり¹⁵⁾、自治体の財源不足や、地方都市における廃棄物処理が困難となることが予想される。このため、人口減少下での廃棄物減少量、必要設備容量の予測、長寿命化方策の検討に加え、廃棄物処理広域化、異種廃棄物間の連携処理などに取り組んでいく必要がある。また、公共土木工事量も減少すると予測され、再生材の供給が需要を上回る可能性が懸念されることから、再生材の品質向上による用途拡大、再生材を用いた土木資材の長期的な環境安全性を評価する試験方法の開発に取り組む必要がある。

② 埋立地は廃止までの年数を30年とすることが多いが、埋立物からの環境汚染物質の溶出ポテンシャルが環境汚染を引き起こさないほど低下したことを保証することは困難であるため、遮水工の耐久性はそれ以上が望まれる。このことから、遮水機能の耐久性向上や耐久性評価方法の確立に取り組む必要がある。また、埋立層内部環境の変化により埋立物中の環境汚染物質が可溶化する可能性も考えられることから、30年を越える長期的な溶出予測や、溶出した場合でも再度埋立層内でパッシブに不溶化できる技術の開発に取り組む必要がある。

③ 2014年3月末現在で、東日本大震災に伴う災害廃棄物等の処理・処分は一部を除き完了した¹⁶⁾。しかし、福島県の除染廃棄物の管理は、今後30年ほどかけて保管、処理、処分していかなければならない。このための保管方法、減容化、安定化・モニタリング方法の開発・研究に取り組んでいく必要がある。

2) 土木学会環境工学委員会として今後取り組むべき課題

- ① 人口減少下での廃棄物処理のあり方について、環境システム工学委員会等との協力により模索していく必要がある。具体的に環境工学委員会では、これまで別々に処理されてきた廃棄物を、連携処理する場合の正・負の効果を明らかにするとともに、それに基づいた技術開発に取り組む。また、再生材や埋立地については、土木学会内の関連するコンクリート・地盤分野の委員会との連携を考えていく必要がある。
- ② 廃棄物は、底質や土壌とともに、種々の環境負荷物質が最終的に行き着く先であり、環境工学委員会内でのこれらの分野の専門家、上流側となる水道、下水道、排水処理、大気汚染分野との連携を密にし、課題解決のための糸口を見いだすことを試みる。具体的には、シンポジウムの開催による交流促進、産・官・学ワークショップ等による膝をつき合わせたレベルの会合の設定により、課題整理と共同研究に向けたマッチングを行う。



4. 9 放射性物質

(1) 過去から現在までの課題と取組

1) 流域環境：原発事故による放射性物質の流域への沈着とその動態については、事故直後からの文部科学省（現在では原子力規制庁に移管）主導による包括的な調査を始めとして、現在まで多くの機関において福島県内を中心に調査研究が行われている。それらにより、空間線量率の経時変化傾向や放射性セシウムの流出特性には土地利用依存性があり、特に、福島県の7割の面積を占める森林域における空間線量率の減少が小さいことが確認された。これは、セシウムが土壌表層に強く吸着し留まっていること、流出等によるウェザリングの効果が小さいことに対応する結果となった。一方、市街地では、環境中の放射性セシウム濃度低下は顕著であり、空間線量率の減少も速いことが確認されたものの、それらを生じさせる流出、減衰プロセスを解明するに至っていない。また、湖沼やため池等受水域への放射性セシウム蓄積は、一般に、主に直接沈着や初期流入の影響が大きく、今後増加する可能性が低いと考えられる一方で、霞ヶ浦、赤城大沼等福島県外の内水面においても水産有用魚種の出荷規制が続く等、水界生態系への放射性セシウムの移行は継続している状況が確認されている。

2) 水道：事故発生直後、周辺環境から放射能が検出されたことを受け、厚生労働省は、原子力安全委員会が定めた飲食物摂取制限に関する指標を食品衛生法に基づく暫定規制値とした。水道水については、放射性ヨウ素が100Bq/kgを超過する場合の乳児による水道水の摂取制限を行った。次いで、放射性セシウム汚染に対する濁質の徹底管理等、水道水源中の放射性物質の低減方策や水道水モニタリング方針を示した平成23年6月の「水道水における放射性物質対策中間取りまとめ」を経て、同年10月に水道水等の放射能測定マニュアル」を公開した。さらに、平成24年4月より、長期的な状況に対応する水道水中の放射性セシウムの管理目標値として、WHO飲料水水質ガイドラインに基づいた10Bq/kgを設定した。また、当管理目標値に係るモニタリングの方針、水道水及び水道原水中の放射性物質の検出状況、管理目標値を超過した場合の対応等が示された。

3) 下水道：福島第一原発事故が、下水道システムにおける放射性物質の汚染問題を顕在化させた初めての事例となった。事故後の挙動調査によって、特に合流式下水道では、広域にわたり地表面に沈着した放射性物質が雨水流出水とともに処理場へ流入後、主に最初沈殿池汚泥に蓄積し、汚泥濃縮、脱水等の処理過程での濃縮作用を経て、大部分が汚泥に移行したことが明らかとなった。放射能汚染汚泥の処分・有効利用は進まず、多くの場合、放射性廃棄物の受け入れ処分先が用意されるまで処理場内に仮置き状態となっている（平成25年10月現在で、約12万6千トンが焼却灰あるいは脱水ケーキとして保管¹⁷⁾）。これに対して、平成23年度補正予算により汚泥からの放射性物質の分離技術について検討が行われているが、実用化には至っていない。一方、事故後各地で実施された、路面や側溝等を対象とした除染作業により、処理場への流入量削減等一定の成果が挙げられた。

4) 廃棄物：福島第一原子力発電所の事故以降、特に関東圏（避難区域を除く）の各自治体では、廃棄物焼却炉における焼却灰、ばいじん、排ガス、排水中の放射性セシウムの測定が定期的に行われるようになった。放射性セシウムの濃度は近年減衰傾向にあるものの、ばいじん中には放射性セシウムが高濃度に含まれることが多いことが明らかになっている。また、国立環境研究所を中心に、汚染廃棄物中の放射性セシウムの基礎物性や燃焼時の挙動予測、焼却灰等からの溶出性評価、土壌等の吸着能評価、埋立層内挙動のモデリングと予測、浸出水処理技術の評価、測定分析方法の標準化、リスクコミュニケー

ションやマネジメント手法などについての研究が行われている。

(2) 将来重要となる課題とその解決に向けた取り組み

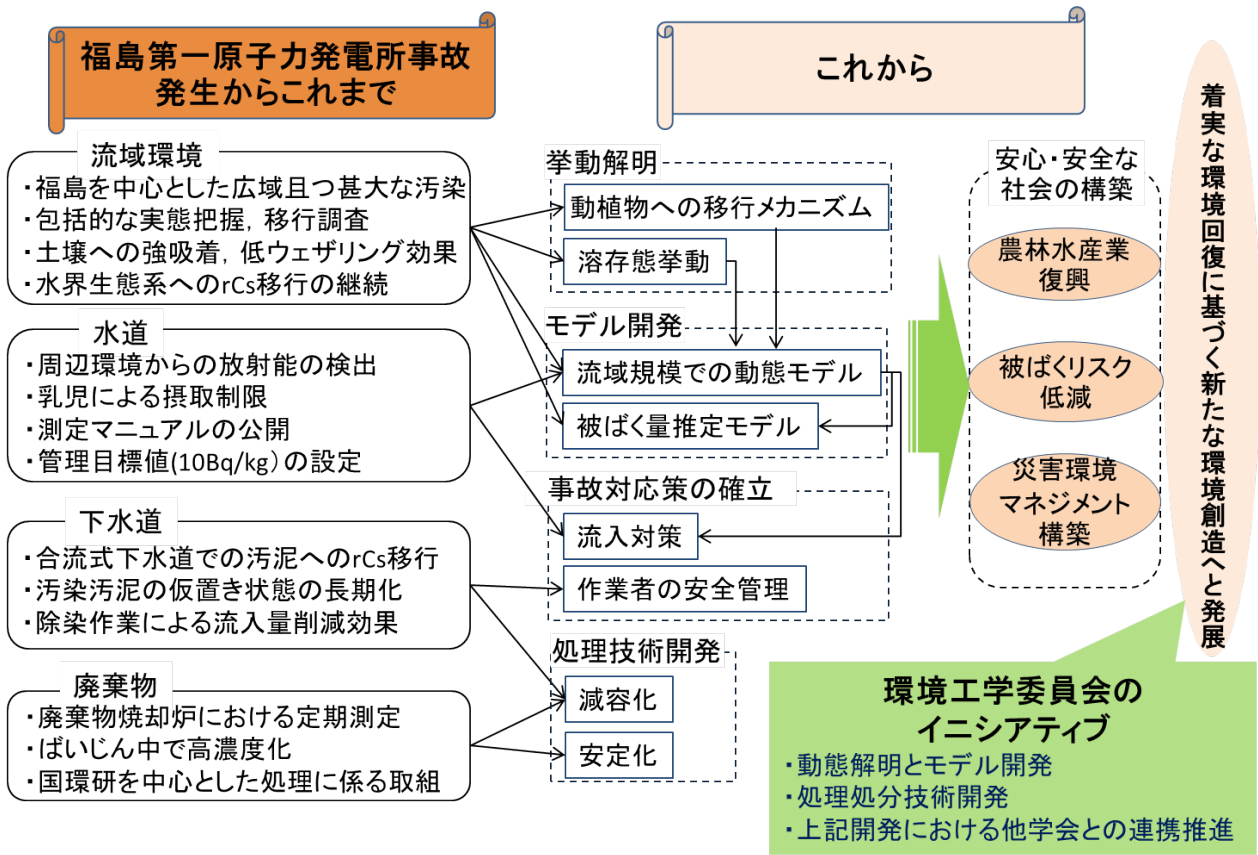
1) 流域環境：今後の最重要課題の一つとして、周辺住民や林業従事者への外部被ばくリスク管理の観点とともに、森林環境保全さらには林業復興の点からも、樹木への移行を含めた森林域における中長期的な放射性セシウムの動態予測が挙げられる。また、水界生態系へのセシウム移行メカニズムの解明と汚染の中長期的推移を予測することは、水産業の復興を促す上でも必須の課題となっている。さらに、地域住民の被ばくリスク管理や避難住民の早期帰還に向けた取り組みを支える上で、除染等対策の実施による低減効果を含めた流域スケールでの放射性セシウム動態モデルと、被ばく量推定モデル、それぞれの開発と両モデルの結合利用も今後の重要な取組と言える。環境工学委員会としては、動態モデル開発に主体的に取り組むとともに、モデル開発を支える既存の観測データの収集と整備を他学協会と連携のもと、進めていく必要がある。

2) 水道：今後、同程度以上の原発事故の発生に備えた、浄水場への放射性物質の流入対策の確立が必要である。事故直後の放射性ヨウ素を主とする溶存性放射性物質の流入に対する取水制限や浄水施設の覆蓋等の対策手法を確立するとともに、放射性セシウム等土粒子への吸着性が高い放射性物質については、高いレベルの濁質管理が必要となる。また、避難解除区域への住民の方の帰還を見越した、安全で安心な飲料水の確保を目的とした水源管理や浄水過程におけるモニタリング体制の整備も進めていく必要がある。この中で、環境工学委員会が今後積極的に取り組むべき課題として、上述の流域規模での放射性セシウム動態モデル開発と長期挙動解析に加え、未だ不明な点も多い固液分離処理における原水中の溶存態放射性セシウムの挙動把握が挙げられる。

3) 下水道：処理場内に仮置きとなっている汚染汚泥の適切な処理処分が最重要課題である。特に、減容化等処理技術については、各技術の特徴や処理場の特性を踏まえて適切なシナリオや技術を選定すべきであり、その際には、保管や処分の安全性の確保のためのセメント固化等の技術も含めた総合的な判断が重要である。また、処理場への放射性セシウム流入対策を考える上でも、市街地からのセシウム流出プロセスの解明とそのモデル化も重要な取組と言える。さらに、今回の事故を想定外とせず、作業員の安全管理や汚染汚泥の長期保管方法等、将来の備えとして下水道システムにおける放射能汚染への対応について検討、整理していく必要がある。環境工学委員会としては、市街地における放射性セシウム流出プロセスの解明に係る取組とともに、汚染汚泥の処理処分に係る包括的な取組を、他学協会と連携しつつ主導的に進めていく必要がある。

4) 廃棄物：平成 26 年 3 月末現在で、東日本大震災に伴う災害廃棄物等の処理・処分は一部を除き完了した¹⁶⁾。しかし、福島県の除染廃棄物は、今後 30 年ほどかけて保管、処理、処分していかなければならず、莫大な量、かつ高濃度の放射性セシウムの含有が予想されることから、安定化、減容化のための焼却、熔融処理が必要とされている。このため、焼却や熔融などの処理時の放射性セシウムの挙動、また濃縮技術に関するアプローチを実施していく必要がある。また、100,000Bq/kg 以下の放射能を含む廃棄物は管理型処分場で処分され、100,000Bq/kg を越える放射能を含む廃棄物は遮断型で処分される。福島県で発生した 100,000Bq/kg を越える放射能を含む廃棄物は、当面の間、中間貯蔵施設で保管される。何れの場合も安全に保管することが最重要課題であり、環境工学委員会としては、放射性セシウムの不溶化技術、より長寿命な遮水技術、中間貯蔵される前の廃棄物の安全な減容化技術、それぞれの開発に他

学協会と連携して取り組む必要がある。



4. 10 発展途上国の環境問題

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

発展途上国では、急激な経済発展と都市への人口集中により、大気汚染や水質汚濁、熱帯雨林破壊、廃棄物管理等の環境問題が多く発生している。また、先進国による環境資源の収奪や適切な資源管理体制の未確立、生物多様性の減少等の問題も抱えている。中国やインド、バングラデシュにおける有害元素（ヒ素、フッ素等）による地下水汚染はよく知られた例である。近年では、中国で発生した黄砂や PM2.5 等の粒子状物質が我が国を含めた近隣国に影響を与える等、発展途上国の環境問題はしばしば国境を越えて対応すべきグローバルなものとなっている。

これらの問題解決のため、我が国は、政府開発援助（ODA）の二国間援助および多国間援助を通じて積極的に資金・技術援助を行ってきており、2012年の援助額はアメリカ、イギリス、ドイツ、フランスに次いで世界第5位となっている。我が国のODAの多くはアジア諸国に向けられており、環境問題を改善・解決するための様々な事業がなされてきている。一方、環境工学委員会を中心とした研究活動では、発展途上国が直面している環境問題の実態を最新の科学的知見と技術を用いて明らかにする試みが多くなされてきている。一例として、ベトナムにおける地下水中のヒ素汚染機構の解明やマテリアルフロー分析による栄養塩（窒素、リン）の負荷解析、メコン川流域における水系感染症のリスク評価等が挙げられる。これらの研究活動の中には、実際に現地に水処理施設を設置して運転を開始する等、研究成果を社会実装につなげることに成功しているものもあるが、そこには至っていない事例が多くを占めている。

(2) 将来重要となる課題とその解決に向けた取り組み

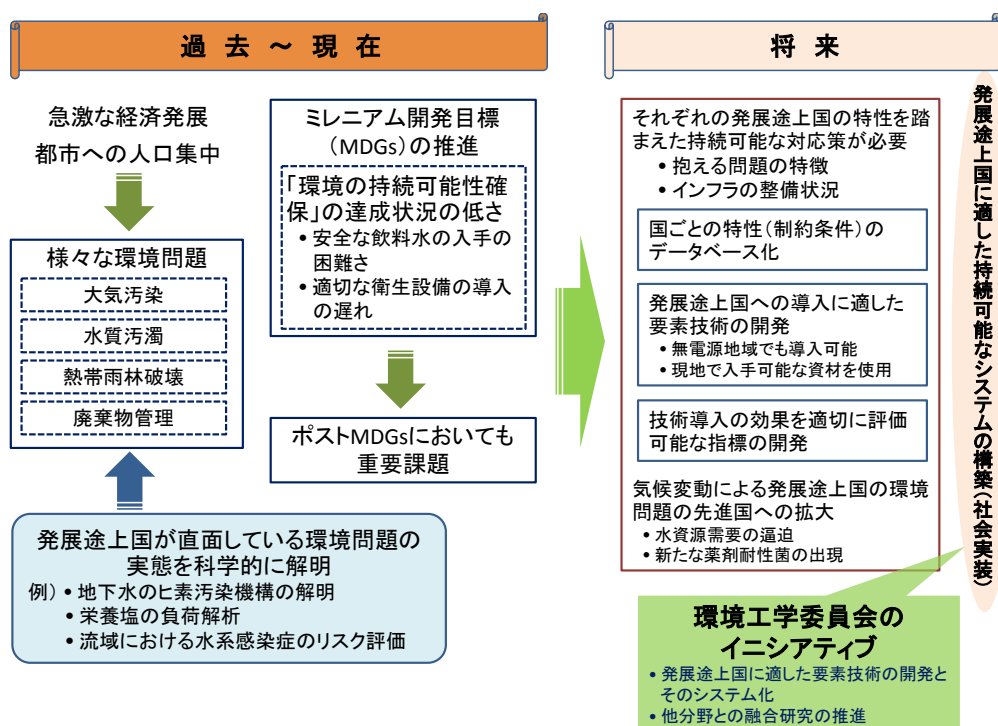
国連のミレニアム開発目標（MDGs）においては、貧困の解消や教育機会の確保、疾病の蔓延防止、乳幼児の死亡率削減等の目標が8項目にわたって掲げられている。環境工学委員会では、その中の一つである「環境の持続可能性確保」に関する研究が主になされてきている。MDGsの期限である2015年が間近に迫る中、8項目の中でこの目標の達成状況が最も低く、特に、アフリカや南アジア、オセアニア等において、依然として安全な飲料水が手に入らず、適切な衛生設備の導入も遅れていることが報告されている¹⁸⁾。安全な水が手に入らない人は世界で10億人に達し、下痢症で年間150万人が命を落としているとされている。これらはポストMDGsにおいても重要な課題となるものである。

このことを踏まえ、環境工学委員会では、たとえば、以下に示すような研究課題に取り組んでいくことが今後重要になると考えられる。

発展途上国の環境問題の改善に際し、先進国の技術を発展途上国にそのまま組み入れることはしばしば非常に困難であり、また、国によっても抱える問題やインフラの整備状況等が異なっている。そのため、先進国において開発された技術等をそのまま発展途上国に適用することは、エネルギー消費の面等から困難が伴う。その国に適した持続可能なシステムの構築（社会実装）を目指す必要があり、そのためには、国・地域ごとの特性（制約条件）を体系的に整理し、データベース化していく取り組みが今後ますます有効となると考えられる¹⁹⁾。その上で、発展途上国への導入に適した技術の開発が必要となり、さらにそれらの要素技術をつなぎ合わせてシステム化する研究が重要となってくる。発展途上国に特化した技術の開発にあたっては、無電化地域でも導入できるような技術が求められており、さらには現地

で入手可能な資材を用いて作製可能であることが望ましい。例えば、傾斜土層法や人口湿地処理、Point of use (POU) 型の水処理技術等の開発が期待される。また、必ずしも先進国と同等の性能（汚染物質の削減レベル等）が求められているわけではない点も十分に考慮して、研究開発を進めることが重要である。あわせて、技術導入の効果を適切に評価できる指標の開発等に関する研究に取り組むことが望まれる。また、現地の人々自らの手によって施設の運転や維持管理ができるよう、キャパシティ・ディベロップメントを効率的に推進するための方策に関する研究も求められる。

気候変動の影響により、これまで発展途上国のみ限定されていた問題が先進国へと拡大することも予想される。具体的には、水資源需要の逼迫や新たな薬剤耐性菌の出現、感染症の流行地域の拡大等の課題への対応が必要となってくる。健康リスクに関わる課題に対しては、科学的根拠に基づいて健康リスクを適切に制御できるシステムや基準値の設定に関する研究が望まれる。水資源需要の将来予測（水量）と健康リスク（水質）を統合する研究等、環境工学委員会内にとどまらず他分野との融合研究を進めることにより、革新的な研究成果につながると期待される。



4. 1 1 産官学連携

(1) 過去から現在までの課題と取り組みの状況

わが国では、高度経済成長期には深刻な大気汚染や水質汚濁への対応が喫緊の課題であり、産官学を挙げて取り組みが進められた²⁰⁾。汚染の実態解明、対策技術の開発などの課題に対して、産官学の各機関は丸手となり、一方でそれぞれの役割・特性に応じて研究を進めながら、公害問題などに対応してきた。産業界では豊富な資金や人材を投入した研究開発や、さらには寄付講座や研究助成基金などによる学との共同研究を進めることが可能だった。学には各技術等に応じた環境工学の講座が成立し、多くの研究が進められるとともに、それらの成果への官側のニーズも高く、行政部門の実施設などで実証研究に移行するものも多かった²¹⁾。

近年、一定の環境改善が見られる状況下では、保全すべき環境として求められるものは多様化しており、その行政対応も多様化、複雑化している。また、温暖化対策のように国際的な枠組みのもとで取り組むべき課題や、生物多様性の確保のように市民・団体等からの直接のニーズとは異なる立場から保全・改善が必要とされる課題も顕在化している。こうした中で官の政策にも、多様なニーズに対して限られたリソースで対応するための行政手段の最適化が求められており、学は有識者として第三者的な視点から行政の政策決定をサポートするようになった。また、環境インフラの整備がある程度進んだ結果、産業界の動向は施設整備から維持管理や更新へと重点が移行して、産の主要課題は効率的な改築更新やアセットマネジメントへと代わり、インフラの長寿命化のための技術開発や、施設管理の民間（産業）の活用などが産官の主要課題になりつつある。

研究開発部門では、環境分野における課題の多様化に伴って、研究範囲の拡大と内容の高度化が進んできた。一方、産業界は、大規模なインフラの新設が縮小する中で、維持管理分野の市場をターゲットとしてきており、総じて製品開発よりマネジメント分野の事業拡大で活路を見出している。その結果、以前のような官学との先端的な技術開発などの連携が拡大しない状況となってきた。こうした研究開発分野の厳しい状況を踏まえ、技術開発等の効率化・重点化を図るため、重要な技術分野の選定（例：下水道技術五箇年計画）や国の先導的技術開発プロジェクト（例：SPIRIT21、A-JUMP、B-DASH など）等の取り組みも数次にわたり行われてきた。

(2) 将来重要となる課題とその解決に向けた取り組み

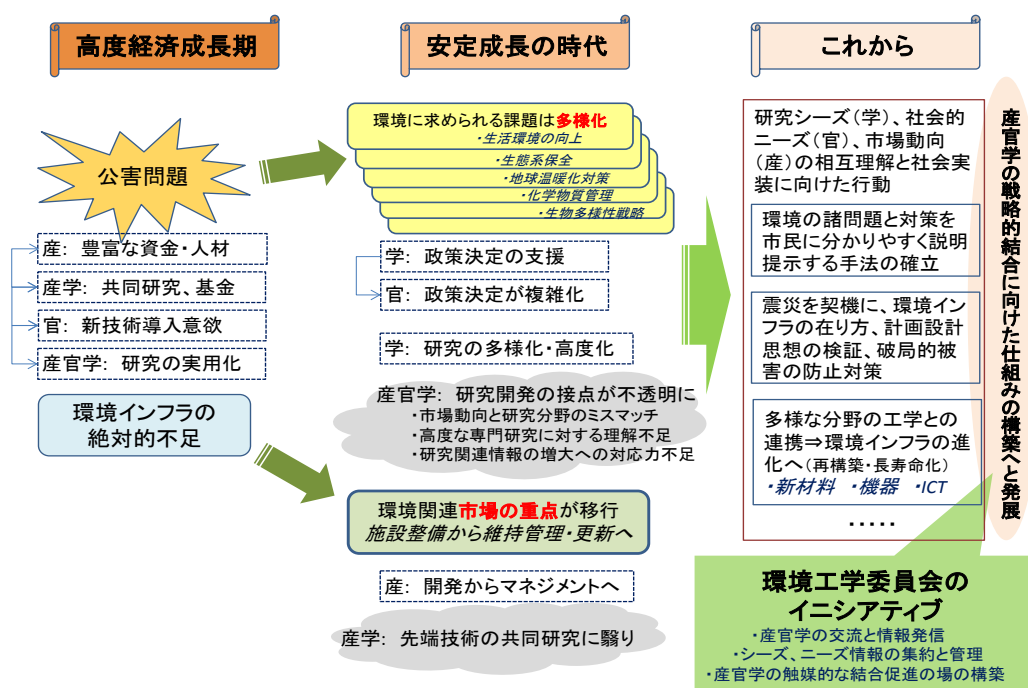
上記のように環境へのニーズが多様化する中で、従前に比べ官はその最適解を見出すことに著しく労力を要するようになり、科学的知見に基づき客観的な立場から官の政策決定に関与する学の役割は今後も重要であると考えられる。また多様なニーズの中で社会から必要とされるナレッジ、技術、製品は何か、を見極めていく上で、産学官が容易に情報交換しうる状況を確保することがこれまでも増して重要となっている。今後は、科学的な知見に基づいた環境の諸問題やそれに対する政策・技術の内容をいかに一般にも分かりやすく提示、説明していくかといった手法の確立も求められる。

東日本大震災では、社会インフラの計画・設計の想定を上回る事象の発生により、大きな被害をもたらしたことが問題となった。環境工学の分野においても、上下水道、廃棄物処理をはじめとする環境インフラ、社会システムの計画設計、維持、運営の各段階において、いま一度これらのシステムの在り方、計画・設計思想などを検証するとともに、災害時などにも破局的な被害を防ぐための方策を構築するこ

とは、今後、産官学が連携して取り組むべき課題である。

また、環境分野も含む社会インフラのアセットマネジメント、長寿命化、再構築などが、今後さらに重要課題となる中で、環境分野では根幹的な技術をベースとしつつ最新の要素技術（例：新材料、機器、ICT 等）の活用が進みつつある。環境工学を基礎としつつも多様な分野の工学との連携による環境インフラの進化が可能となるような産官学の連携の仕組みも求められている²²⁾。

近年、学の分野では、研究の高度な専門化、研究分野の細分化、新たな研究分野の拡大などが進行している。この結果、高度な専門研究に対する理解の不足、分野横断的なソリューションを求める官に対する研究分野のミスマッチ、環境産業の市場動向と研究分野のミスマッチ、研究関連情報の発信源と量の増大への産官の対応力不足などが見られるようになった。こうしたことから、環境分野においても学術研究と行政課題、市場ニーズとの接点が見えにくく、とすれば理解が進まない状況が見られ、産官学の有効な連携構築が困難になっていると思われる。学の研究シーズと行政ニーズの相互理解を深め、それが産業界の技術開発につながり、社会に実装されていくための戦略的結合に向けた仕組みの構築が将来的には一層重要になると予想される。今後の環境工学委員会における課題として、仕組みの構築に向けた研究シーズ・行政ニーズの情報集約、情報管理体制の構築や、シーズ育成のための支援方策の検討、さらには「産」の分野における新規市場開拓動向も踏まえた、触媒的な結合促進の場の構築が重要課題である。



4. 1 2 環境ビジネス

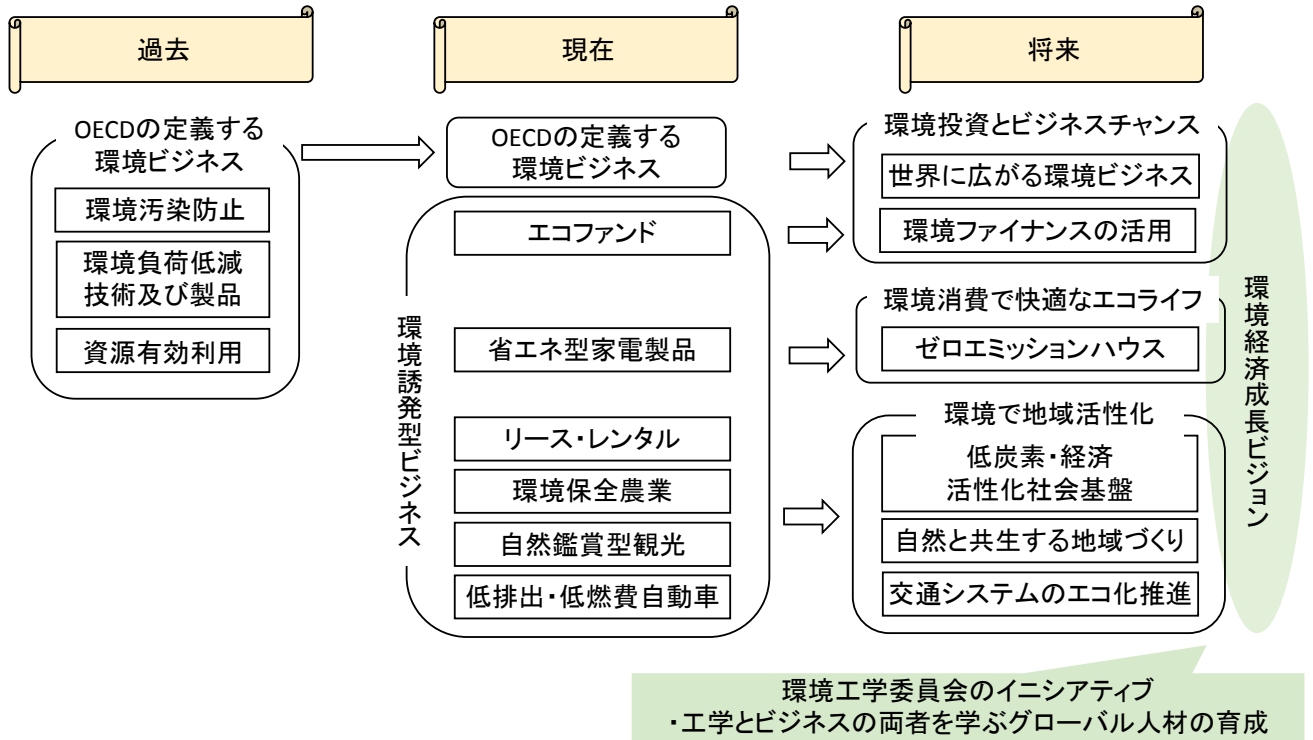
(1) 環境ビジネスの過去から現在までの課題と取組状況

環境関連法が整備されることで急速に発展してきた環境ビジネスは、人口が減少する日本においても、一定以上の市場を形成するものとして期待されている。OECD によると、環境ビジネスは、「A. 環境汚染防止（公害防止産業）」、「B. 環境負荷低減技術及び製品（クリーナープロダクション、環境適合設計等）」、「C. 資源有効利用（再生可能エネルギー、持続可能な一次産業、災害防止、エコツーリズム等）」に分類される²³⁾。一方、環境省は2004年に「環境と経済の好循環ビジョン」を策定し、平成16年版環境白書において、環境保全を考えた消費者の行動が、環境に配慮した機器やサービスの需要や市場を誘発する広範囲の事業を「環境誘発型ビジネス」と定義し、日本の経済再生と地域活性化への貢献を期待している²⁴⁾。これはOECDの定義する環境ビジネスより広範囲の産業として、「低排出・低燃費自動車」、「省エネ型家電製品」、「リース・レンタル」、「エコファンド」、「環境保全農業」、「自然鑑賞型観光」を含んでいる。また、経済産業省や総理府などの他府省も、今後の環境インフラの海外輸出を重視している。OECDの定義する環境ビジネスの日本市場は、2000年の29兆9千億円から2020年には58兆4千億円となり、雇用規模は2000年の76万9千人から2020年には123万6千人になると推計されている²⁴⁾。2011年と2013年にはPFI法が改正され、民間企業の事業環境も整いつつある。さらに環境誘発型ビジネスの市場は、2000年の約41兆円から、2025年には約103兆円となり、雇用規模は、現状の約106万人から、2025年の約222万人になると推計されている²⁴⁾。また、環境省は2010年に「環境経済成長ビジョン」を発表し、重点プロジェクトとして、「環境ファイナンスの活用による低炭素化加速化（持続可能な社会の形成に向けた金融行動原則2011）」、「アジア・世界に広がる環境ビジネスの促進（水環境ビジネス、静脈産業）」、「ゼロエミッションハウスの実現」、「低炭素・経済活性化社会基盤」、「エコツーリズムの推進をはじめとする自然と共生する地域づくり」、「次世代自動車の導入促進による交通システムのエコ化推進」を挙げている。

(2) 環境ビジネスの将来の課題と環境工学委員会の取り組み

環境省が掲げる重点プロジェクトの成功には、環境に配慮した理念を有する、①先端技術と適正技術を持った企業、②グリーンコンシューマー（消費者）、③グリーンインベスター（投資家）、④工学・ビジネスの両者を学ぶグローバル人材を育成する教育機関、⑤企業・消費者・投資家・NPO・行政のコミュニティが必要である。一方、土木学会環境工学委員会の調査研究分野として中核を担ってきた上水道、下水道、廃棄物処理等の各分野の日本の先端技術は、安全・安心であることも含めて世界トップクラスに位置づけられ、これらの分野の研究開発が将来の市場開拓につながることを期待できる。しかし、現時点では、コストの差によって日本の技術がアジアにおける環境ビジネスの展開において、他国の後塵を拝する場合もある。先端技術の開発だけでなく、コストや人材の持続可能性を考慮した適正技術も重要であり、環境工学委員会では上記の④に相当する「工学・ビジネスの両者を学ぶグローバル人材の育成」を推進することが重要である。すなわち、研究成果が日本国内だけでなく、むしろ海外の国や地域において活用されることを想像し、それが社会実装される場合の経営学的戦略までを意識できる人材の育成が望ましい。環境工学委員会としては、学生を対象とした環境ビジネスプランのコンテストを企画・実施し、大学の研究開発が企業経営者に評価を受けることや、アジアにビジネス展開している企業のイ

ンターンシップへの学生の参加を支援する仕組みづくりなどが必要である。



参考文献

- 1) 厚生省生活衛生局水道環境部：水道制度百年史 (1990)
- 2) 日本水道協会：平成 23 年東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書 (2011)
- 3) 厚生労働省健康局：新水道ビジョン (2013)
- 4) 吉澤正宏：下水道施設の老朽化対策の現状と課題について. 下水道協会誌, Vol.51, No.616 (2014)
- 5) 国土交通省下水道部：新下水道ビジョン (2014.7)
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000307.html
- 6) 国土交通省下水道部：地域における水資源のフロー・ストックの検討について, 下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会 第 6 回懇談会配布資料 3 (2009)
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000025.html
- 7) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：平成 25 年度末の汚水処理人口普及状況について (2014)
- 8) 国土交通省国土計画局国土審議会政策部会長期展望委員会：「国土の長期展望」中間とりまとめ (2013)
- 9) 経済産業省：技術戦略マップ 2010、3R 分野 (2010)
- 10) 内閣府、総合科学技術・イノベーション会議：科学技術イノベーションが取り組むべき政策課題解決に向けた取組の加速化について (2014)
- 11) 閣議決定 (平成 24 年 9 月 28 日)：生物多様性国家戦略 2012-2020 ～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～ (2012)
<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/index.html>
- 12) 中央環境審議会：低炭素・資源循環・自然共生政策の統合的アプローチによる社会の構築 ～環境・生命文明社会の創造～ (意見具申) (2014)
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=18377>
- 13) 若松伸司：大気環境研究の現状と今後の課題, 大気環境学会中国・四国支部公開講演会講演概要集, pp.81-84 (2011)
- 14) 若松伸司：大気環境研究の今後の課題, 大気環境学会中国・四国支部公開講演会講演概要集, pp.43-46 (2013)
- 15) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口 (平成 24 年 1 月推計) 報告書、p.79 (2013)
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/kaisetsu.pdf>
- 16) 環境省：平成 26 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書、第 1 部、第 2 章 被災地の回復と未来への取組、pp.56-57 (2014)
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h26/pdf.html>
- 17) 野村充伸：放射性物質を含む下水汚泥の減容化について ―福島第一原発事故の影響への取り組み― (2013)
<http://www.jswa.go.jp/gesuidouten/2013/pdf/h3.pdf>
- 18) 外務省：政府開発援助・ODA ホームページ
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/doukou/mdgs.html>
- 19) 藤井滋穂, 原田英典, Nguyen Pham Hong Lien, 木本祐一, Pham Huong Giang, 駒井俊也, Binaya Pasakhara, Chinagarn Kunacheva, 田中周平：途上国における水環境衛生問題制約条件の抽出のためのアジア途上国 9 都市比較研究, 第 48 回環境工学研究フォーラム講演集, pp. 24-26 (2011)
- 20) 土木学会環境工学委員会編：自然・社会と対話する環境工学、第 5 章 社会に科学技術を実践する、丸善出版 (2007)
- 21) (公財)水道技術研究センター：産官学による浄水技術研究開発プロジェクト 20 年を振り返る (2012)
- 22) 宮脇淳、眞柄泰基：水道サービスが止まらないために―水道事業の再構築と官民連携、時事通信出版局 (2007)
- 23) OECD：The Environmental Goods & Service Industries (1999)
- 24) 環境省：平成 16 年度版環境白書 (2005)

5. おわりに

環境工学委員会将来ビジョンは、平成 25 年度から 26 年度にかけての環境工学委員会幹事会においての議論をもとに、幹事が分担執筆者となって作成したものであり、環境工学委員会の承認を得て、2015 年 3 月に公表した。

環境工学の対象が広がる中で、社会経済は高度成長から安定成長へ、また人口増加から人口減少へと大きく変わりつつある。また、地震災害などの自然災害の増加、気候変動などの長期的なリスク因子に対する対応も重要となっている。環境工学委員会と環境工学に携わるすべての人々の活動が、将来にわたって、よりよい環境と社会を作るための基礎的な研究の進歩と、社会への貢献の二つの役割を果たすよう、現在と将来の課題を整理し、それらに対する対応策を検討した。

本ビジョンが、日本の環境工学分野の研究者のみでなく、行政や企業などの実務や環境工学の教育においても指針となることを期待している。

平成 25～26 年度 環境工学委員会 委員

委員長	東京大学	味埜 俊		
幹事長	東京大学	滝沢 智		
委員兼幹事	北海道大学	佐野 大輔	九州大学	島岡 隆行
	山形大学	渡部 徹	宮崎大学	土手 裕
	日本大学	中野 和典	山口大学	樋口 隆哉
	東京大学	中島 典之	前澤工業(株)	田名部 直勝
	東京大学	佐藤 弘泰	(株)クボタ	中河 浩一
	木更津工業高等専門学校	上村 繁樹	(独)港湾空港技術研究所	桑江 朝比呂
	山梨大学	原本 英司	(独)土木研究所	岡本 誠一郎
	岐阜大学	廣岡 佳弥子	国立保健医療科学院	島崎 大
	大阪大学	惣田 訓	(独)国立環境研究所	林 誠二
	京都大学	大下 和徹	(独)国立環境研究所	肴倉 宏史
委員	北海道大学	東條 安匡	広島大学	尾崎 則篤
	北海道大学	佐藤 久	九州大学	楠田 哲也
	八戸工業高等専門学校	矢口 淳一	北九州市立大学	伊藤 洋
	日本大学	吉田 征史	長崎大学	西田 渉
	前橋工科大学	田中 恒夫	岡山大学	永禮 英明
	関東学院大学	鎌田 素之	(株)日水コン	清水 丞
	京都大学	清水 芳久	日本上下水道設計(株)	天野 幹大
	立命館大学	神子 直之	日本下水道事業団	佐藤 泰治
	岐阜工業高等専門学校	角野 晴彦	(一社)日本下水道施設業協会	堀江 信之
	富山県立大学	川上 智規	埼玉県環境科学国際センター	池田 和弘
	京都大学	藤井 滋穂	国土交通省 国土技術政策総合研究所	高島 英二郎
	京都大学	田中 宏明		

環境工学委員会 将来ビジョン

発行日 平成 27 年 3 月 20 日

編 集 土木学会 環境工学委員会

発 行 公益社団法人 土木学会

〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目外濠公園内
電話 03-3355-3441 (代表)