

第4編 地球温暖化に対する適応策

1 はじめに

本提言は、将来予想される地球温暖化時の日本社会の適応について、土木学会地球温暖化対策特別委員会適応策小委員会が主として水工学、海岸工学、環境工学の視点から行なうものである。また、本提言では日本語の慣例に従い、温暖化や気候変動といった語句を用いるが、温度が上がることだけが問題でもなく、年々の気候の変動を問題としているわけでもないため、Climate Change（気候変化）という用語が世界の共通認識であることを最初に付記しておく。

ところで、地球の地圏・水圏における将来の動向に関しては氷河期の再來說や、温暖期や寒冷期の周期説なども存在していたが、今日言われるところのいわゆる地球温暖化現象は昨日や今日突然に認識されたものではなく、以下のような長い歴史を持つものである。

19世紀初め、地球大気に温室効果があるかもしれないとフーリエ（J. B. J. Fourier）が考え、1896年、CO₂の濃度変化とそれに伴う水蒸気量の変化が地上気温に重大な影響を与えることをアレニウス（S. A. Arrhenius）が計算し発表して以来、100年以上が経過した。ハワイのマウナロアではCO₂濃度がはっきりとした上昇傾向を示すことを1960年キーリング（C. D. Keeling）が発表し、真鍋（S. Manabe）とウェザラルド（R. T. Wetherald）が次元の放射対流平衡モデルを用いてCO₂倍増による地表気温上昇が2～3度になることを1967年に示してから考えても、50年近くが経過した。ちなみに、この2～3度という数字は現在の最先端の研究成果とほとんど違いのない数字である。世界規模での協調の下に気候研究を推進することの意義が認められ世界気候研究計画（WCRP）が1979年に発足し、1988年には、温暖化の脅威を政府レベルで真剣に評価分析するために気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が設立された。そこから約20年、2007年に発行されたIPCCの第4次報告書は、地球の気候システムに人為起源の温暖化が生じていることはほぼ間違いないと断定した。

IPCCから公表された第4次評価報告書によるとその影響は、

- i) 生態系
- ii) 淡水資源
- iii) 食料
- iv) 沿岸と低平地
- v) 産業
- vi) 健康

など広範囲に及び、またCO₂等温暖化効果ガスの削減を中心とした緩和策を行っただとしても短期的及び長期的に起こるであろう温暖化による影響に対処するためには、地球温暖化そのものを緩和させる対策（緩和策）と温暖化に伴う諸現象への対策（適応策）が必要であることが指摘されている。

その中で地球温暖化に伴う気候変動は人間の生活する陸上の標高高度、海岸線からの距離、大陸の東西南北、気候区の違いなどに関わらず、あまねく大なり小なりの水循環に影響を与え

る。特に人口や資産の集中する沿岸域や低平地では、海面水位の上昇、大雨の頻度増加、台風の激化とそれらの複合した水害、土砂災害、高潮災害等が頻発・激甚化すると指摘されている。また、淡水資源に関しては、降水量の絶対的な量の大小の将来変化に伴う問題のほか、人間の生活・生産の活動度や人口と人口密度の変化など社会の変化に応じた水需要との需給の相対的な大小に起因する問題がある。このため、

- ・ 降水量の絶対量の減少
- ・ 降水量の変動幅の拡大
- ・ 積雪量や融雪時期が変化
- ・ 人口の増加
- ・ 途上国の発展に伴う水使用量の原単位の増加
- ・ 水の豊かな国・地域と水の乏しい国・地域間の水のやり取りの難しさ

などにより慢性的な水不足を抱える国・地域の増大と、渇水の頻度が増加するなど淡水資源の問題が顕在化することが想定される。

上述のように地球温暖化に伴う降水量の変化や海面水位の上昇等によって直接的または間接的に影響を受ける生態系、生活系、産業系の諸問題に、現在の人類が真摯に対応することは、将来における持続可能な人類社会を構築し、生態・環境の保全と創出を行う上で、現在を生きる我々にとって不可避の義務となりつつある。持続可能な社会の構築を現在の人類全体が掲げる重要な目的のひとつとするならば、地球温暖化と気候変動に伴う地上の全生命への過剰なインパクトの緩和と生態系、生活系、産業系における過不足のない合理的な適応策の立案とその着実な実行が必要不可欠なものではあるものの、その目的の遂行に対しては政治・社会・文化・経済等さまざまな分野からの対策と寄与の必然性が存在する。しかし本土木学会がそれら全ての対策を網羅し、その義務を履行することは学会の本来の目的でもなく能力と守備範囲を超えていると考えられる。上記の諸分野との緊密な連携のもとでの土木学会としての活動は本提言書の提出の後、全土木学会会員と土木技術者が真摯に考慮すべき人類の生存に関わる壮大なテーマである。

このような地球温暖化と気候変動に関する現状の認識にもとづき、本提言は、人類の歴史の始めから現在に至る土木技術者が獲得した土木技術と現在の土木学会会員の日ごろの業務や研究活動から得られた知見を総合化し、土木技術の観点に基づき、地球温暖化と気候変動に起因する諸問題に対して適応策の提言を行うものであり、本報告書は政治・行政のみならず国際社会、メディア、教育および地域社会全般を対象として提言するものである。

2 地球温暖化時代における社会基盤整備と土木技術

地球温暖化と気候変動による影響は、上述のように生態系、淡水資源、食料、沿岸と低平地、産業、健康など広範囲に及び、例えば健康という分野においても今後水と衛生の基盤整備が必要となるように、それぞれの分野においてこの問題は社会基盤整備と密接な関係を有している。このため広く土木技術の活用による社会基盤整備の着実な推進と地球温暖化や気候変動による社会基盤への影響を低減させる努力が必要であり、様々な土木技術の分野において、地球温暖化の適応策への貢献を考えることが重要である。特に降水量、海面水位などの変化を直接的に影響として受ける水と水循環に関する分野では、災害の発生などによって自然・社会に深刻な影響を被る可能性があり、土木技術の活用による適応策の役割が極めて重要である。

このため、ここでは、上述の生態系から健康まですべての項目において根幹をなしている水と水循環に関する分野を代表として、社会基盤整備と土木技術の観点から適応策のあり方と目指すべき社会像を検討することとする。

地球温暖化や気候変動による水の量の多寡および質の変化・変動に起因する人間社会へのインパクトの低減に直接寄与する適応策は、堤防、遊水地、ダム、堰、防波堤、上下水道等の社会基盤の整備に依存しており、それらは全て土木技術の上に立脚している。土木技術は本来、社会情勢の変化に対応しながら人々の生活の安心・安全を確保する社会基盤の整備を行うことがその目的のひとつであり、前述のとおり地球温暖化に対応する適応策として不可欠である。人口が多くかつ経済活動の中心となる沿岸域や低平地における水害、土砂災害、高潮災害等の too much water に起因する災害から人命・資産を守ることは重要な課題である。さらに不安定な水資源に起因する渇水や too little water に起因する安定な生活・生産活動に対する脅威を低減することも重要である。

一方、人口密度の低い地域の多くは農業、畜産業、林業および水産業の生産拠点であり、かつ豊かな生態系を有している。それらは地球温暖化と気候変動に伴う水災害等の発生、耕作・作付け時期の変化、農業水利の不安定取水や水温上昇と水質悪化、植生の変化に伴う流出特性の変化、山腹崩壊の発生等の直接的な影響を受けると考えられている。これらは全て生産活動を低減させ、さらに過疎化の促進を招くように働いている。

これらの諸課題を解決するにあたり都市や農村を含む地域計画、交通計画、治水、利水、農業土木などの分野において今日まで蓄積された高度な土木技術の有効な活用は不可欠であり、さらに新技術の開発や社会制度の充実をはかりつつ土木技術を中核とする地球温暖化の適応策を計画的に進めて行くことが重要となってくる。

3 賢い選択と粘り強い適応に基づく持続可能な社会

3-1 水の安全保障

地球温暖化と気候変動に対する適応策に関する基本的哲学として「水の安全保障」の考え方がある。この場合「水の安全保障」の考え方は以下のように定義される。すなわち字義通りの狭義の意味での

(1) 水災害・水需給・水質・環境・生態系の安全保障

と広義の意味での

(2) 人命、資産と平和に関する安全保障

がある。地球温暖化と気候変動に対する適応策に関する基本的哲学としては、上記(1)の安全保障に加え、食糧・食料とエネルギーの安全保障を前提としつつ、地球温暖化と気候変動の時代に適した生活の質の保障と向上を担保するものとしての、文化、教育、情報、農林水産業、工業、経済、衛生、医療等の進展が期待され、このもとで広義の意味としての人命、資産と平和に関する安全保障が考えられよう。すなわち持続可能な社会は以下に示す三つの安全保障の確保のもとに達成され、そのもとに平和で活力のある社会が構築される。

(1) 水の安全保障

(2) 食糧・食料の安全保障

(3) エネルギーの安全保障

3-2 地球温暖化と気候変動に関する既往の提言

現在までに地球温暖化と気候変動に対応した適応策に関して、いくつかの政策提言がなされている。その代表的なものと適応策の表題を列举すると以下ようになる。

- ・ 国土交通省河川局 気候変動に適応した治水対策検討小委員会・・・水災害適応型社会
- ・ 環境省 地球温暖化影響・適応検討委員会 気候変動への賢い適応—地球温暖化影響・適応検討委員会報告・・・賢い適応
- ・ 農林水産省水産庁 地球温暖化に対応した漁場・漁港漁村対策調査事業報告書
- ・ 日本学術会議 地球惑星科学委員会・土木工学・建築学委員会合同 国土・社会と自然災害分科会 地球環境の変化に伴う水災害への適応・・・環境変化や災害に対して適応能力が高い強靱な社会を築く

日本学術会議では環境変化や災害に対して適応能力が高い強靱な社会を築く(Establishment of adaptive capacity, high-resilience society)ことが謳われており、環境省では適応策全般に対して「賢い適応」のもとにさまざまな提言がなされている。国土交通省は、「水災害適応型社会」の名の下に、水災害に特化した適応策を社会資本整備審議会から答申を受けている。このような現状のもとに土木学会では将来の地球温暖化と気候変動の影響の下で影響そのものの緩和を考える緩和策と適応策を構築しつつ、我が国と国際社会のあり方を検討する影響小委員会、緩和策小委員会と適応策小委員会の三つの小委員会が立ち上がっている。本報告書はその中の適応策小委員会からの提言であり、本節はその前提として地球温暖化と気候変動のもとでどのような社会の構築を目指して適応策を立案するかを論じるものである。

3-3 地球温暖化と気候変動に関する不確実性と賢い選択

地球温暖化と気候変動は時間的・空間的にも、またその質的・量的にも多くの不確実性が存在することが指摘されている。一方、温暖化と気候変動の有無に関わらず発生する政治情勢の変化、人口の増大や減少、少子高齢化、エネルギーおよび食糧の供給量の変化、経済活動の変化およびそれらに影響を受ける地域社会の構造変化等の社会変化にも現在の我々の知見では予測の困難な数多くの不確実性が存在する。その不確実性の中で地球温暖化と気候変動に対応していくにはさまざまな政策上あるいは技術上の選択肢が必要となり、かつそれらの適切な選択と組み合わせが必要になってくる。水の安全保障に関して言えば、我が国の土木技術者は *too much water* と *too little water* に関わる水問題・水災害に関して歴史上多くの成果を挙げ、他国に例を見ない安定した国土の形成に寄与しており、その経験から様々な水に関する解決可能な政策手段と技術的オプションを獲得し、その質を高め、社会変化や地球温暖化の進展に応じた多くの選択肢を提示することができる。また、選択肢の選択にあたって、これまでの調査・研究の成果や知見・経験の積み重ねにより、様々な水に関する課題の分析・評価方法を開発しており、気候変化、社会構造や情勢、科学技術、環境・生態系などに関して正しい認識のもと、課題の分析・評価を行って目標に対して推奨すべき政策・技術を賢く選択できる。賢い選択とは、地球温暖化やその影響の特性、抱える社会問題の原因などを踏まえて、これらにおける課題の解決と目指す社会のあり方を選ぶものであり、国や地方、官・学・民それぞれの役割や共通部分において存在する。例として以下の表に示すように、哲学・理念から法制度、政治・行政・社会システム、環境・生態系、技術、投資、人材、教育、国際貢献などにおける具体的な仕組みから基本的な考え方まで様々なことが考えられる。それぞれの事項において、推奨すべきものと反対に回避すべきものの両方の観点があり、将来に向け政策や技術の選択を行う必要性がある。

そして選択した事項の実現に向けては既存の政策や計画に適応策を組み込んでいくこと、すなわち適応の主流化が最も効果的でありかつ現実的であろう。

表. 1 地球温暖化に関する賢い選択

	推奨すべき事項	回避すべき事項
哲学・理念	水の安全保障(水災害・水需給・水質・環境・生態系の安全保障が国と国際間の安全保障の基礎である=持続可能社会)	国民、国のリーダー、行政の無知、無視、誤った理念への傾注
	順応的な対応	対応の硬直化
哲学・理念		優先順位の誤った選択
	適応の主流化	
	水循環の哲学	
法制度	水の安全保障を憲法・行政法レベルでの明文化	
	水利権・漁業権等の法制度改革	権利の硬直化
	地下水の利活用と権利	
	適切な税制	
政治・行政・社会システム		不作為
	政治行政におけるリーダーシップ	政策の遅れ
	事業主体の明確化と複数分野の総合的な対策、行政の連携	縦割り行政
	対策に関する専門部署	
	合意形成手法の確立	利害関係者の対立
	危機管理やBCPの導入	壊滅的なシステム崩壊
	土地利用の見直し	
環境・生態系	保全と創造の理念と実践	
	保全と創造技術の開発	
		環境への過負荷
	クリーンエネルギーの公共事業への活用	
	水循環の哲学	
研究・行政組織	地球温暖化の緩和策と適応策に関する国立の研究 所・センターの設立	
	政府・行政内におけるさまざまな省を統括する部署 の設立	
人材	行政・土木系研究分野における緩和策・適応策専門 家の養成	
	政治・行政・土木系研究分野における緩和策・適応 策に通じた人材養成（多様な視点を持ち地域の状況 に通じた人材）	
	NPOの養成と活用	
	国際的素養を習得した人材	

投資	公共事業の投資効率の向上	
		多重投資
技術		不適切な技術適用
		適切技術の不採用
技術	多機能と機能の高度化	
	適切なモニタリングとフィードバック	技術開発の遅れ
	WMO、統合型水資源管理、統合洪水管理と技術	技術開発の遅れ
	リスク評価手法の確立	技術開発の遅れ
	危機管理に役立つ技術	技術開発の遅れ
教育	国民・住民の理解のための行動	画一的な教育
	学校教育における理学・工学系専門教育者の養成とカリキュラムの形成	
国際貢献	対策を通じた国際貢献	
	水災害分野における貢献	
	水供給分野における貢献	
	衛生分野における貢献	
	WMO、統合型水資源管理、統合洪水管理	

3-4 粘り強い適応

上述のように地球温暖化と気候変動に対する政策と技術には多様な選択肢の賢い選択が必要となるが、その選ばれた選択肢に対しては必要となる要件が存在する。すなわち想定を超える外力や構造物の耐力を超えた外力に対しては、カタストロフィーに導く壊滅的な被害を回避する壊れにくくかつ壊れても迅速な復元が可能な粘り強い機能を必要とする。水災害と水の需給に関わる量的および質的な問題に関しては、可能な限りの耐力を有する防災能力の強化と、耐力を超える場合にはその外力の分散を図ることによる被害の最小化を目指した地域の災害耐力に応じた統合化された社会システムの構築と外力がもたらす被害からの避難や退避に基づく減災能力を必要とする。その中には被災想定箇所や地域からの住居や生産・産業拠点の退避も含まれる。

本節においては地球温暖化と気候変動のもとでの持続可能な社会を構築するにあたり必要となる項目を列挙している。すなわち既往の提言を踏まえつつ、

(1) 基本的な哲学としての「水の安全保障」

(2) 不確実性の中での賢い選択

(3) 粘り強い適応

を論じてきた。

これらの哲学を基礎としつつ土木技術は(2)において選択肢の数と内容及び選択にあたっての分析・評価を充実させ、また(3)においては粘り強い適応の実現の可能性を高める上で不可欠である。

土木学会では、地球温暖化対策に取り組むために、地球温暖化特別委員会を設立し、この委員会の下に以下に示す三つの委員会を設立している。

- ・影響小委員会
- ・緩和策小委員会
- ・適応策小委員会

適応策小委員会においては土木学会内の水に関連した常置の委員会である、水工学委員会、海岸工学委員会、環境工学委員会の三委員会に具体的に適応策の検討を依頼しており、本提言はその検討の結果をまとめたものであり、以下の節で述べるとともに、検討された影響と適応策については末尾の一覧表にまとめている。

4 適応策に関する水工学からの寄与

4-1 治水の整備水準が低い中での気候変化の襲来

主要な大河川については200年に1度の洪水にも対応できるように整備基本方針および整備計画が策定されつつあるものの、例えば利根川の場合、30年に1度の洪水に対応する整備でさえ6割程度しか達成されていない。一方で、河川事業予算は1996年度のピーク時に比べ半分近くに減っている。このように、現在の治水目標に対してさえ整備には長期間を要すると見込まれる上に、温暖化が進んだ場合、今世紀末には現行での200年に1度の規模の洪水が100年に1度程度と頻発化し、同時に巨大化することが予測されている。このためダムや堤防の整備は着実に進める必要がある一方で、それらだけに頼るのは非現実的であり、水が溢れることも念頭にいた現実的な治水策を温暖化適応策の一部として導入していく必要があるだろう。

具体的には、

- ・ 犠牲者ゼロを目指す
- ・ 中枢機能地への重点対応、国土構造の再編成
- ・ 住まい方の工夫、土地利用（規制、と誘導）と一体となった河川計画
- ・ 補償や水害保険などの整備
- ・ 観測の高度化、継続による順応的対応と予警報の高度化
- ・ 極端な大規模災害（地震などとの複合災害を含む）の想定と、それへの備え
- ・ 従来の三本柱（河川改修、流域対応、危機管理）に加えて、四本目の柱として氾濫・浸水後の復旧・復興対策や地域のBCP（Business Continuity Plan）の立案

などが挙げられる。氾濫・浸水が生じなければ何よりであるが、氾濫・浸水が全く生じないことを前提とするのは、もはや無理であろう。様々な不確実性のもとで、溢れた場合への対応を十分に考慮した社会を認めるべきではないだろうか。また、各企業などはBCPへの取り組みを始めたが、水害に対する地域社会全体としてのBCPは無い。その作成は急務である。

これらは地球温暖化の脅威がなくとも、治水目標に対して整備に長期間を要する現状を考えた場合、いずれにせよ我が国の治水へ取り込むべき施策である。地球温暖化への適応が、その早期導入への契機となるものと考えられる。極端な大規模災害は、100年後でなく10数年後に日本を襲うかもしれない。温暖化による水循環の変化がはっきりと検出されてから行動するのでは遅い。

4-2 既存の枠組みに囚われない既存ストックの活用

上記のように、現行の治水利水目標さえ十分に満たされていないのが現実ではあるが、一方で戦前、戦後を通して、特に高度成長期以来、治水施設を整備してきたことも事実である。そのため膨大な治水施設がストックされてきた。しかしながら、高度成長期に整備した膨大なストックが寿命を迎えつつあることも事実である。人口減少、高齢化は待ったなしであり、国土の景観に関しての意識も高まってきた。既存ストックの寿命分布の平滑化は必須である。一方で、財政には余裕はない。このような現代の日本の治水利水事業が置かれた立場を考慮すると、

- ・ 施設の徹底活用と長寿命化、寿命分布の平滑化、改良による機能向上

- ・ 高度化した情報収集・解析技術を生かしたオペレーションの向上
- ・ 異なったセクター・自治体間での施設の共同整備と共同活用、日頃からの情報交換、人材交流
- ・ 旧来型事業遂行からコンソーシアム的な事業の推進
- ・ 水利権や水価格についての再考による水資源の有効利用

などによって、既存のストックや様々な有形無形の資産を最大限に生かし、最小限のコストから最大限の効用を産み出すことが求められる。

4-3 画期的な水災害リスク評価手法の開発と公開

これまで主たる河川流域を対象としたハザードマップこそ存在するものの、それぞれの流域に対して、流域の安全度（脆弱性）を定量的に明らかにしたものは無い。新たに作られるべきものは、流域内の各々の地域の安全度（脆弱性）を示すものであると同時に、異なった流域間を比較可能なものである必要がある。この新たな安全度（脆弱度）評価を基礎とした上で、様々な適応策を講じたときの安全度（脆弱度）の変化を評価できることが必要である。結果として、適切な適応策の選択や優先順位付けを行うことが可能となる。また例えば、東海地方におけるネーデルランド構想のように、想定しうる最大の外力についても考えておくべきである。そのような最大外力がすぐさま襲来するわけではないが、問題点の抽出・洗い出しが可能となる。

このような画期的な水災害リスク評価手法の開発には、

- ・ 定量的な水害影響評価（リスク評価）の高度化
- ・ 標準的評価手法の公開
- ・ それに基づく適応策の順位付けとロードマップの策定、適応限界（critical level）の試算などが含まれる。

災害リスクを明示することによって、水災害関係者・ステークホルダーの合意形成が図りやすくなり、街づくりや土地利用などの河川管理者以外による適応策を促進・誘導することができる。その際、人々が「実感」できるような明示手法もあわせて開発する必要がある。

4-4 水資源政策の転換

近年、少雨化傾向にあり、年降水量の変動幅も大きくなっていることから、これまで確保してきた水資源の安定供給量は減少しており、利水安全度は低下している。また、安全でおいしい水や豊かな環境等に対する国民の意識の高まりもあり、水循環、水利用、施設管理、危機管理等の観点から様々な課題が顕在化している。こうした課題のある中で、季別の降水量や年間の降雨パターンの変化、降水量の変動幅の拡大など地球温暖化による影響が予測され、規模の大きい渇水の発生が懸念される。また、積雪量や融雪時期の変化の予測から農業などの水利用に影響が生じる恐れもある。さらには水質や生態系への影響、海面上昇に伴う地下水の塩水化など広く影響が懸念され、適応策を講じる必要がある。

水資源の様々な課題は、水循環系を介して密接に関連しており、分野横断的な対応が重要であり、適応策を含めた課題の解決には以下のことが必要である。

- ・ 1つの水系に依存する流域（集水域及び関連する利水域、排水域、氾濫域）を単位として、水に関わる関係主体が連携・調整すること

- ・ 水量と水質、表流水と地下水、平常時と緊急時を総合的・一体的に考え、対策の適切な組み合わせ、適切な順序での施策を行うこと

水資源政策においては、従前の水資源開発による量的な充足を優先させる「開発」を主とする方策から、気候変動を見据えた水源開発も含め、多くの課題の解決を図る総合的な「マネジメント」へと施策を転換することが国土審議会水資源開発分科会調査企画部会から提案された。

水を持続的に活用できる社会の実現と健全な水循環系の構築を理念として、多様な主体の連携・調整のもと、豊かな水環境に配慮しつつ、最適な水資源配分等を図っていく総合的な水資源の管理を目指している。

今後、具体的な内容や仕組みについて実現性や既存の制度との整合性などの観点から検討を進める必要がある。

4-5 諸外国の適応策への支援

地球温暖化によって諸外国が被る影響が食料輸入などを通じて国内社会に大きな影響を与える点において、日本は世界でも特殊な国である。そのため、諸外国における温暖化適応策に貢献することは自国の安全、安定のためにも重要な課題といえる。先進国としての世界への応分の貢献という側面も忘れてはならない。

食料の安全保障という意味では、世界の穀倉地域や人口密集地帯における農業生産に対する適応策を支援する必要があるかもしれない。一方で、人口密集地域であるアジアのデルタ地域での適応策の推進においては、日本の技術と経験が大いに役立つと考えられる。例えば、レーダー情報を基盤とした瞬時の広域降水量分布の把握や、IT 技術によるその伝達・公開、更には洪水・土砂災害の予測と迅速な対応などは、急峻な地形に豪雨の降り注ぐアジアモンスーン変動帯地域において共通に必要なとされる技術であり、日本が世界の最先端を切り拓いているものと考えられる。これらの技術を諸外国へと広めることは、短期的にも長期的にも国益に適うものであろう。

4-6 水問題に関する教育の革新

必ずしも地球温暖化に伴うものに限ったわけではないが、水問題に関する知識を普及していく取り組みが重要である。市民に対する直接的な教育・啓蒙のみならず、教育者に対する教育とそれを通じた防災知識の青少年への普及も非常に重要な課題である。教育者が適切な知識を持っていることで子供たちを直接危険から守ることが可能になり、またその知識を子供たちに伝えることで将来の潜在的なリスクを軽減することが可能となる。工学系・技術系大学卒業生の小中高先生への採用・配属も促進されるべきであり、地球温暖化、生物多様性等の地球環境問題に関する新しい重要事項関連の科目の必修化も視野に入れるべきではないか。

また、これまでの考え方や手法のみでは今後の気候変化に適切に対応することは難しいと考えられる。これから求められるのは、これまで経験したことのない問題に対して柔軟かつ適切に対応していくことができる人材である。その意味で、行政に携わるものや技術者の能力を向上させる取り組みを進めていく必要がある。たとえば、地域の NPO との協働を通じた、土木学会の旧来の枠にとらわれない人材育成などが求められる。もちろん、新技術、新素材の開発も絶え間なく継続していく必要がある。

4-7 地球温暖化適応策実施のための法的・経済的・社会的システムの整備

地球温暖化の緩和策では、二酸化炭素の排出規制のように、緩和策を実施するための枠組みが考えられているが、適応策においても同様に、適応策を実際に実施する（させる）ことを担保する枠組みを考える必要があると考えられる。現在の河川整備基本方針や河川整備計画の議論には将来の気候変化が織り込まれていないが、長期的にはこうしたことも考慮しつつ議論していくことが望ましいと考えられる。河川整備基本方針や河川整備計画立案における時間的、空間的、総合的枠組み作りが必要であろう。既存の行政法や行政の構造における縦割り構造を乗り越えた新たな計画案の実現、作成も必要である。既存の枠を超えるためには政治が主たる役割を果たすべきともいえる。そのために、例えば、省庁横断型の地球温暖化適応策本部、事務局の創出などが考えられる。

4-8 余裕ある社会へ向けて生活・制度の見直し

水災害に限らず、災害が発生したときは非常時なのだから、その非常な状態が終わるまで普通の日常生活をあきらめたほうが身のためになることが多い。すなわち、少し余裕を持って生活することによって、人命や資産を守ることができる。たとえば、台風が来たら、それが過ぎるまで仕事は休む、といったことである。上記は時間的な余裕であるが、空間的にも同様のことが言える。河川沿いの水災害リスクの高いところは、公園や空き地のように、余裕を持って空けておくことで、水害発生時の被害を軽減することができる。このように、全体として余裕ある社会を構築することで、生活基盤を災害に対して頑健なものとすることができる。

5 適応策に関する海岸工学からの寄与

5-1 適応策の基本的な考え方

適応策は、防護、順応、撤退に大別される。防護は、地球温暖化の影響を構造物等で防ぐことであり、堤防や護岸の天端を嵩上げして高潮災害を防ぐというのがこれに相当する。3 大湾を始めとして日本では人口や資産が集中する地域が海岸線付近に多い。このような地域は、構造物によって高潮などの災害に対して高水準の防護を行う必要がある。このような防護は、年齢や体力などにかかわらずすべての人とすべての資産が守られるという長所を有する。それだけの集積がなされている地域には積極的に防護策を推進すべきである。ただし、海岸の環境や利用面を考慮すると、護岸や堤防の形状などを工夫することによって、単なる天端の嵩上げにならないような技術開発の余地がある。

順応とは、浸水などが起こっても被害にならないように生活様式や利用方式を工夫することである。アメリカのフロリダ州のように高床式の住居にして、予測される高潮の水位より上に床を作るのがこれに相当する。また、ハザードマップを作成して、避難態勢を整えるのもこれに含まれる。順応は、想定を越える高潮のような外力に対しても対応しやすいという長所をもっているが、日常生活を含めて、人間活動はある程度の制約を受けることになる。

住民がいない地域や、人口がきわめて希薄な地域においては、防護することなしに撤退し、自然に任せて高潮や海岸侵食を受け入れることも可能性の一つとなる。人口減少の中で予算が限られている状況では、限られた地域についてはこのような適応策が有力となろう。

防護、順応、撤退という適応策は、単独で用いるだけではなく、組み合わせて進めることも考えられる。特に、高潮などに対する現状の目標レベルに対しても海岸の防護が完成せず、さらに台風の強度の増加を含む将来の不確実な外力レベルに対してまですべての海岸の防護水準を上げることは不可能であろう。こういった状況では、ある程度のレベルまでは構造物などによって完全に防護するが、それを越えた外力に対しては、順応策を取り入れて被害を最小にするという考え方が必要である。地球温暖化に対する海岸での適応策をきっかけに、海岸保全一般についても、組み合わせによる二重の防災・減災態勢を目指すべきであろう。

5-2 適応策オプション

沿岸域では、海水面の上昇および波浪の増大、台風・高潮の来襲頻度、規模の変化によって受ける影響が最も大きい。それらにより、海岸・港湾施設の機能低下が生じ、後背地に浸水・氾濫など大きな被害をもたらすと考えられる。また、沿岸域の浸水・氾濫リスクには、河川流域の降雨量・パターンの変化も大きく影響する。海水温の上昇や気温の上昇も沿岸域環境などの影響を与えと考えられる。

これらの影響に対する適応策オプションとしては、上記の防護、順応、撤退に対応して以下のように挙げられる。

防護：

- ・ 海岸・港湾施設の整備，改良
- ・ 海岸・港湾施設の設計基準の変更

- ・ 排水システムの強化
- ・ 河川・海岸の総合的土砂管理（サンドバイパス，養浜）

順応：

- ・ 建築様式の変更（建築物の嵩上げ，セットバック）
- ・ 総合的沿岸域管理
- ・ 迅速な避難支援
- ・ 地域防災力強化（情報提供，共有）
- ・ 災害復旧基金，補助金の創設，浸水保険制度
- ・ モニタリング（長期，リアルタイム）

撤退：

- ・ 土地利用の変更・規制（緩衝帯の設置，遊水池などの設置，住居などの移転）

5-3 適応策のタイムスケジュール

地球温暖化に対する適応策の実施に際しては、手遅れにならないように計画的にすることと、他方で、事前の対応が過剰になって無駄な投資にならないようにすることが重要である。図は、防護を念頭に置いた場合の、地球温暖化への適応策の実施のタイムスケジュールを示すものである。

堤防や護岸の天端高を念頭に置くと、左端は現有の構造物を建設した時点での必要天端高を示しており、実際には余裕高を加えて建設されている。その後の海面上昇によって、現在の必要天端高は若干上昇している。また、現状では不確定であるが、台風の強度の増加等も起こりつつある可能性がある。それらによって必要天端高が上昇する様子を右上がりの曲線が表している。しかし、それらは今のところ余裕高に吸収される程度であると考えられるので、構造物の機能は所定の水準を保っている。しかし、そのままの状態を続ければ、やがて機能水準が不十分となる。そこで、現在の構造物の更新や災害復旧の際に、まずはそれまでに実際に観測された海面上昇分を取り入れて、更新時期での最新の海水面高を使って設計を行うようにする。これで起こってしまった海面上昇への対応がなされたことになる。さらに後の更新時には温暖化現象がより明確になるであろうから、海面上昇の実績だけでなく耐用期間中の上昇予測値も加えたり、さらには台風の強度の増加の現象が明らかであればその分も加えたりして、設計を行う。

このような手順により、地球温暖化に対する適応が、手遅れになることもなく、また、無駄な投資に終わることもなく、漸進的に行われていくことになる。地球温暖化が現実になった現在でも、その定量的な将来予測については不確実性が残っているから、適応策の実施の中でその不確実性を吸収するような工夫が必要である。

ただし、上述の適応戦略の実施に際しては、技術的に解決しておかなければならない問題がある。例えば、10年オーダーの海水面の上下変動などが含まれる潮位記録から、長期的な海面上昇量をどのように抽出するかということもあるし、設計条件を越えて余裕高にかかるような外力の超過が起こった場合に、構造物の耐力が保証されるかなどもある。そのような技術的な問題を解決した指針を早急に策定する必要がある。

日本では、1990年代に地球温暖化の影響と対応策の検討が、学問的課題として、さらに行政

的課題として盛んに行われた。しかし、対応策が実施されるには不確実性の壁が高かったように思われる。地球温暖化が確実なものと断じられた今、それに対する対応の長期的な見通しを是非持たなければならない。

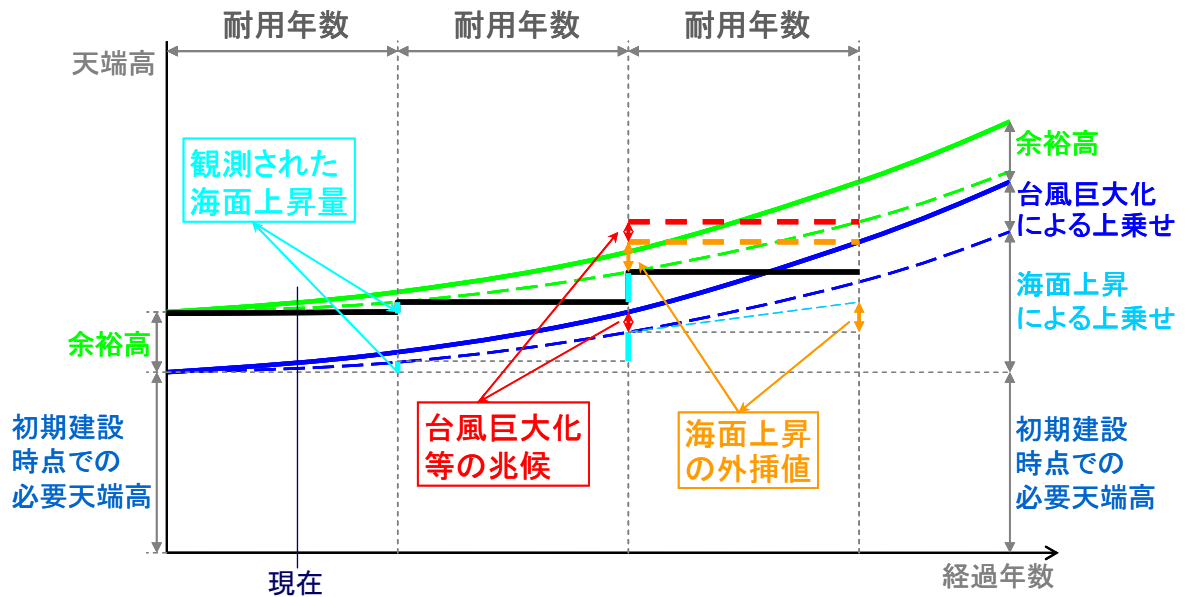


図. 1 地球温暖化に対する漸近的適応策（磯部，2008）

6 適応策に関する環境工学からの寄与

6-1 概要

環境工学分野における地球温暖化への適応策は多岐にわたるが、そのほとんどは次のものにまとめることができる：(1) 再利用の促進、(2) 都市発汗、(3) 地下水涵養・利用、(4) 農業用水・工業用水を含めた流域内水利用システムの再構築、(5) 流域間の水の相互融通システムの構築、(6) 栄養塩循環、(7) 病原微生物・熱帯伝染病、(8) 省エネルギー型技術の導入。

「(1)再利用の促進」は、主として喝水対策となる施策である。家庭レベルでの再利用から下水処理場での高度な水の再生処理を行うものなど、さまざまなレベルでの再利用が含まれる。再利用の促進の範疇には、下水処理水を農業利用することもある。標高の高い地域に都市が、標高の低い地域に農地が立地している場合、都市から発生した下水を処理し、さらにその処理水を農業利用することができるであろう。こうした施策は下水に含まれる栄養塩類の有効利用にもなる。また、低地に農地あるいは緑地が広がるような都市構造は、治水安全性の面から都市の低地利用が限定されるようになると、我が国において広く見られるようになっていくと予想できる。

「(2)都市発汗」は、都市の放熱作用を高めることで、都市域の温暖化・温室化を軽減しようというものである。植樹を施すこと、打ち水をすること、あるいは建物の外壁に水を流して放熱すること、水のスミストをまくことなど、水を用いたさまざまな方法で都市の熱放散を促進することが試験的に実施されている。こうした取組みの効果を定量的に評価する必要も出てくるであろう。また、こうした施策を可能ならしめるためにも、「(1)再利用の促進」が重要となる。

「(3)地下水涵養・利用」は、地下水の涵養を促進するとともに、その有効活用をはかろうというものである。地下水を一定の社会的ルールのもとで有効活用することで、表流水への需要を削減することができる。一方、地下水涵養は、雨水の流出抑制とあわせて実施することができる場合もあるであろうし、海岸付近では海水の地下水への侵入を抑制することができると期待される。技術の開発や実施だけでなく、社会的なルールづくりや地下水の動きに関する精緻な予測を行なう技術も必要である。

「(4) 農業用水・工業用水を含めた流域内水利用システムの再構築」および「(5) 流域間の水の相互融通システムの構築」では、流域内での水利用の最適化を、水の再利用システムや地下水利用、あるいは貯水池・ダムの水運用、また、都市用水・農業用水・工業用水利用を含め、再構築しようというものである。さらに、喝水対策を考えると、流域間での水の融通を必要に応じて促進していくことも有効である。制度づくり、あるいは水利権の段階的な見直しといった社会制度の側面その他、流域内あるいは流域間での水利用について適切な施策を策定し実施するような人材を育成することが必要である。

「(6) 栄養塩循環」は、温暖化との直接的なつながりは薄く見えるかもしれないが、我が国の食料自給能力を高めるために考慮しなければならない必要不可欠な項目である。下水、有機性廃棄物、あるいはし尿に含まれる栄養塩類を回収し農業利用していくための技術開発が必要である。また、そうした技術は農家の理解なくしては実施することができないので、農家あるいは農作物の消費者まで巻き込んで考えていくべき問題であるかもしれない。

「(7) 病原微生物・熱帯伝染病」で特に指摘したのは蚊の発生への対策である。水の循環型

利用を行うにあたり、あるいは、湿地処理のような低コストの水処理技術を導入するにあたり、十分に考慮すべきである。

「(8) 省エネルギー型技術の導入」は、緩和策との切り分けが難しいが、いくつか考えられる事例を表に列挙した。例えば、下水処理についてはエネルギー消費量のより少ない技術、あるいは、バイオマス回収をより促進する技術などをあげた。

以上の、適応策は、概して、水を中心とする社会の物質代謝システムに柔軟な変革を迫るものである。その一方、上下水道システムは地中に埋設されたインフラであり、柔軟性に乏しい性格を持つ。また、我が国では 1900 年代後半都市化が急速に進展したために、全国的に画一的な上下水道システムが採用されている傾向がある。地域の特性にあった水代謝システムに変えていく必要があるのはいうまでもないが、そのためには各地域の水に関する技術者の知力・技術力を高めていく必要がある。

6-2 各側面での適応策

a) 水供給

気温の上昇に伴い、湖沼において藍藻類が異常増殖する期間が長期化する可能性があり、これらの藍藻類からの放出により、水道水の異臭味（カビ臭）問題が大きくなると考えられる。これに対しては、下廃水処理の徹底により栄養塩の湖沼への流入を抑え、藍藻類の増殖を抑止することが第一に挙げられる。また、カビ臭除去に効果が高い活性炭吸着処理などを既存浄水処理プロセスに付加すると同時に、これらの適切な運転（添加率、接触時間など）を行う必要がある。また、気温の上昇が病原性微生物の河川水や湖沼水中での生存に有利に働き、水道原水中にこれまでより高濃度で混入する可能性が考えられる。これに対しては、浄水処理工程での塩素消毒をこれまで以上に注意を払って運転する必要がある。一方で、気温の上昇は、これまでの浄水処理では低温時に問題となっていたアンモニアの生物酸化処理や凝集処理の効率低下に対しては、好都合に働くものとも期待できる。

渇水の増加により、水源水量が低下し、水道原水への下水混入率がこれまで以上に増加することが考えられる。これに伴い、下水中に含まれる医薬品や病原性微生物（原虫、ウイルスなど）により、原水が汚染される危険性が増加するものと考えられる。水源水量の低下に対しては、家庭内・ビル内循環利用の推進や、地下水利用ルール確立とそれにのっとった地下水利用の促進などが必要となる。さらには、地下水の涵養およびその水質保全の促進も必要であろう。このためにも、水源の分散化、ネットワーク化を考慮した取水計画が必要となる。また、医薬品や病原性微生物対策には、浄水処理工程にて活性炭吸着や膜処理などの導入を検討する必要があるであろう。

衛生害虫の北上に対しては、直結給水を奨励することにより貯水槽を減らし、貯水槽にて蚊などの害虫が繁殖する可能性をできる限り低減する必要がある。

省エネルギーへの取り組みとしては、現在より上流に取水場所を移動することにより、導水や配水に要するエネルギーを重力により賄うことが期待できる。また、マイクロ水力発電などにより積極的に浄水施設内で発電を試みると同時に、様々な省エネ技術を導入する必要がある。

b) 下水道

地球温暖化による気候変動は、降雨パターンを変化させ、地域的に豪雨洪水被害を生じることが懸念されている。下水道は都市における雨水の適切な排除という重要な使命を有しており、雨水の排除能力の向上および雨水の貯留や地下浸透を促進するための技術が必要となる。また、合流式下水道では、豪雨時に雨水と混ざった未処理下水の一部が公共用水域へ排出される、いわゆる越流水問題への対策を強化する必要がある。

降雨パターンの変化により、渇水頻度が増加することも考えられる。下水処理水は有効な代替水源の一つであり、処理水の再利用を更に進めるために、高度処理技術の更なる開発と導入、再利用水の需要や要求される水質に関する情報の蓄積と整理、基準や諸制度の充実を進めることが考えられる。また、集中型の下水処理では再利用水を供給できる範囲が処理場周辺に限られるため、処理場の分散配置も検討に値する。

地球温暖化により水温が上昇すると、閉鎖性水域に於ける藻類の異常増殖の促進と酸素溶解量の減少が共に生じるため、富栄養化による深刻な水質汚濁の進行が懸念される。下水は、富栄養化物質の主要排出源の一つであるため、適切な栄養塩対策を行なう必要がある。高度処理技術の開発・導入を推進する、あるいは、栄養塩を含む処理水を緑農地に供給し栄養塩を植物に吸収除去させること、あるいは栄養塩を含む処理水は閉鎖性水域をバイパスして開放性の高い水域に放流する、といった対策が考えられる。なお、栄養塩を除去するにとどまらず回収する技術を導入することが望ましい。

また、水温の上昇は下水処理の機能そのものに影響を及ぼしうる。すなわち、酸素の溶解効率が減少するため、好気性処理に於いては溶存酸素濃度を維持するためにエネルギー消費が増大すると予想される。曝気設備を中心とした省エネルギー型の装置の開発が必要であろう。また、嫌気性処理では加温の必要性が減少し、低強度の有機性排水についても処理が可能になることが期待される。低強度の有機性排水に適用可能な嫌気性処理方法の開発やメタン回収・利用設備の小型化が待たれるところである。

地球温暖化に伴う海水面の上昇は、沿岸地域における雨水排除を困難にし、また下水管への塩水侵入と処理への悪影響が懸念される。よりいっそうの雨水対策を講じるとともに、塩分の下水処理や再利用への影響を考慮する必要がある。

さらに、地球温暖化に伴って衛生害虫が北上することが指摘されている。下水関係の諸施設においては、下水管、処理施設および雨水貯留浸透施設などにおいて衛生害虫対策を強化する必要があるかもしれない。また、低コスト技術である湿地処理を導入する場合には、害虫を繁殖させない適切な管理方法を開発する必要がある。

c) 廃棄物管理

病虫害の発生や豪雨・洪水に伴う有害物質の漏出など、地球温暖化は、廃棄物の適切な処理・処分に悪影響を与えることが懸念される。廃棄物関連の適応策には、これらの問題への対策に加え、食料自給率向上を目指した有機性廃棄物の堆肥化など、廃棄物の資源化をも含めた総合的な取り組みが期待される。

地球温暖化に伴って降雨パターンが変化し、渇水が生じるような場合には、水の安定供給を図るため再利用水の需要が高まると考えられる。また、乾燥による粉塵被害の低減のために散

水需要の増大が予想されるなど、浸出水再利用の需要は増大すると予想される。そこで、浸出水再利用を促進するための技術や制度を開発・導入する必要がある。

降雨パターンの変化によって、豪雨による洪水被害が生じるような場合には、埋め立て処分場も同様の被害に遭うことが懸念される。処分場の新設時における立地選定において、豪雨の影響をこれまでよりいっそう慎重に評価する必要がある。また、水害の増加に伴い災害廃棄物が増加することも予想される。中間処理や処分の方法について、技術開発・ノウハウの蓄積を行なうとともに、災害時の対応に関する制度を充実させていく必要がある。

また、気候変動により、降雨・積雪が減少すると考えられる。ただし、この場合、冬期ゴミ収集に関する負担の減少など、現状に比べて良い方向の変化になると期待される。また、気候変動は衛生害虫の北上を引き起こすため、その対策も必要である。

地球温暖化に伴って海水面の上昇が生じるような場合には、海面埋め立て処分場において浸水被害が生じることが懸念され、堤防のかさ上げや雨水貯留容量やポンプ容量の増加による雨水排除能力の強化が必要となる場合もある。

一方、地球温暖化による気候変動は、世界的な食料需給バランスを崩壊させる懸念がある。食料自給率を改善し、我が国への影響を回避するためには、特に有機系廃棄物の農業生産利用を進めて行く必要がある。有機系廃棄物の堆肥化速度は、気温と共に上昇することが期待される一方、堆肥化施設までの収集・運搬・一時貯留の工程に於いて、腐敗の進行による臭気や衛生害虫の発生などの問題を生じる恐れがある。従って、有機系廃棄物の資源化を積極的に普及・促進するためには、以下の適応策が必要である。収集、運搬、一時貯留の各工程において腐敗を抑制し臭気や衛生害虫を制御する技術の開発、また堆肥化行程に置いても衛生害虫の発生を抑制する技術を開発する必要がある。

一方、有機性固形廃棄物を輸送の手間を要して回収し資源化を目指すよりも、下水管を用いて、人や周囲の環境に直接触れることなく運搬し、安全で適切な処理を行うことも適応策の一つとして重要な検討課題である。すなわち、ディスポーザーを用いた安全かつ省エネルギー的な廃棄物収集・運搬技術の開発、および、ディスポーザーを導入した流入下水からの資源回収技術の開発が考えられる。

d) 水環境

温暖化は気温だけでなく水温の上昇をも引き起こすと考えられる。水温の変化だけでも水辺の生物種を変化させる要因となりうる。さらに水温の上昇は植物性プランクトンの増殖を促し、富栄養化の被害を増大させると予想される。また、飽和溶存酸素濃度が低下しその一方水中微生物の呼吸活性が増大するので、貧酸素化を招きやすくなる。適応策として、水生植物を植栽するにあたり将来の水温変動の影響を考慮すること、各種栄養塩対策を実施すること（ヘドロの浚渫、下水の高度処理、水生植物を利用した栄養塩除去など）が考えられる。富栄養化対策はまた貧酸素化への対策ともなる。

北日本、日本海側の水系においては大量の雪解け水が春に供給される。降雪・積雪の減少は、雪解け水の減少を招き、それにともない生態系や農業（特に稲作）が大きな影響を受ける可能性がある。融雪水はまた地下水の涵養効果が高い。融雪水が減少するということは、地下水の涵養も減るということである。融雪水にかわる水の貯留方法・地下水の涵養方法を検討する必

要がある。一方、積雪が減少すれば融雪のための地下水くみ上げ量が減少し、結果として地下水位が上昇することも考えられる。

渇水による河川や湖沼の水量低下に対しては、下水処理水の放流や地下水涵養による地下水からの河川水供給を増加させることで、多少の影響緩和をできるかもしれない。水源林を確保することは、地下水の涵養に有効である。一方、河川は洪水の影響をより頻繁に受けることになる予想される。河川敷の利用にあたっては安全基準の見直しや利用形態の見直しが必要となるであろう。また、渇水や洪水が水生生物に与える影響を最小限にとどめるための装置を導入することも場合によっては有効であろう。

e) 都市生活

気温の上昇により微生物活動が活発となり、家庭内での生ゴミからの臭気発生が問題となることが考えられる。これに対しては、生ゴミの収集頻度を増加することにより家庭内での滞留時間を短くすることでの対応が考えられる。しかし、収集増に伴う二酸化炭素排出量の増加が危惧されるため、検討が必要である。一部の地域ではディスポーザーの導入による対処も考えられる。

また、気温の上昇は、夏期の冷房使用を増加させ、日中の野外活動を過酷化する。これに対しては、下水処理水や地下水による打ち水の実施やせせらぎの創出などの都市発汗システムの改善による対応が考えられる。さらには都市域の緑化を進め、健全な放熱の促進に力を入れることも大きく寄与するものと考えられる。一方で、冬季の暖房使用は減少の方向に進むものと期待できる。さらには、気温の上昇により、街路樹や雑草などのバイオマス系廃棄物が増加すると予想される。これらの廃棄物をバイオマス資源として利用する技術の開発とその実施による対応が期待される。

積雪の減少は、それへの対策の負担減少により、都市生活にはプラスに働くものと考えられる。

降雨パターンの変化に伴い、渇水の危険度増大することが考えられる。これに対しては、下水処理水の再利用など、カスケード的水利用の促進による適応が考えられる。そのためにも、処理水を再利用するための処理場・処理装置の分散配置を進める必要がある。

降雨パターンの変化は、豪雨や洪水の危険度をも増大すると考えられる。洪水時には、浄化槽から未処理下水が市街に越流し、その後に悪臭や害虫による被害が出るものと考えられる。これに対しては、雨水貯留施設・浸透施設の設置などによる越流の防止策や、低地利用の規制による対応策が考えられる。

海水面の上昇に伴い、ゼロメートル地帯が増加し、それによる地価の低下が予想される。堤防のかさ上げや内水排除能力を強化することによりゼロメートル地帯の安全性を確保すると同時に、住宅地から産業利用（工業や物流）へと土地利用を変更することによる対処が考えられる。

衛生害虫の北上の影響として、蚊によるデング熱やマラリアなどの感染症が広がる可能性が指摘されている。これに対しては、魚のいない水たまりを駆逐するなどの方策が考えられる。

f) 農村生活

農村の人々の生活に温暖化が与える影響のうち最も大きなものは、気候変動（気温上昇、降雨パターンの変化、積雪の減少）によって好適な栽培作物種が変化してしまうことであろう。しかしその他にも、影響としてはそれほど大きくはないかもしれないが、考慮されるべき影響がいくつか考えられる。

農地周辺に防風や日よけのための樹木を植えることは、気温上昇や大風の対策として有効であろう。有機系の廃棄物を堆肥化させるにあたって、気温の上昇は堆肥化速度を高めるであろう。富栄養化対策のために下水等から除去された栄養塩は、積極的に緑農地に還元されるべきであり、それを可能ならしめる技術の開発が必要である。

農業にとって渇水は大きな脅威となるが、地域によってはそれを緩和するために下水処理水を導入することも考えられる。農業用水として地下水を利用する場合は、地下水の涵養が有効な対策となる場合もあるかもしれない。その一方洪水に対しては、農地を洪水時の遊水地的に使う、あるいは逆に平時に遊水地を農業利用するようなことが考えられる。そのような柔軟な土地利用を行うための合理的な制度を作っていくことも検討に値する。

人口密度が小さく下水道が普及していない地域の洪水被害において、浄化槽や汲取槽があふれることによる衛生問題が発生することがある。これら施設を洪水時においても内容物があふれないような構造にすることも必要である。

海水位の上昇によって、海岸付近の農業活動に塩水が悪影響を及ぼすケースが増えることが考えられる。地下水への海水の浸入や、河川での塩水楔の思わぬ上流への遡上が、農業用水への塩分の混入を招きうる。地下水涵養や農業用水の取水位置の変更といった対策が考えられる。

衛生害虫対策は農村の方が都市部よりも困難であると予想される。排水の向上、水たまりの排除、滞水の防止といった対策の他、建物内の通風の向上、蚊帳・防虫ネットの利用、ヤブの伐採による蚊の隠れ家の消去、殺虫剤の散布といった、土木以外の技術を組み合わせての対策が必要であろう。

7 水の安全保障に関する適応策の推進に向けての提言

地球温暖化に伴う気候変動による影響は、これまで述べてきたように水災害、水需給、水質、環境・生態系という水の安全保障に大きく関わっており、食糧・食料、エネルギーと併せて国家の持続的な存続に関わる。このため、国家の安全保障として国がリーダーシップをとってこの問題に対応すべきである。国が国家プロジェクトとして地球温暖化の下での緩和策のみならず適応策を推進し、将来の安全で安心な国土の姿を早期に示す必要がある。また、このために必要な法制度や技術体系などの仕組み、費用、組織や人材の確保など具体的な戦略を併せて立案する必要がある。特に政府において専門の担当部署を設置するなど強力な推進体制の構築が望まれる。

この際に適応を考える上で「賢い選択と粘り強い適応」は中核を成すコンセプトであり、これを支える土木技術は不可欠となり、実現において多大なる貢献を果たすであろう。地球温暖化への適応に向けて土木技術を結集させる必要がある。また、地球温暖化への適応は、長期的かつ順応的な対応となることが多く、政治や行政において政策や戦略の継続性が重要である。適応策の具体的な検討、実施にあたっては、国と地方が適切な役割分担のもとに行うことになるため、地方においても地球温暖化に伴う気候変動及びその影響について、十分な認識が必要であり、地域に根ざした適応策の立案、実施が望まれる。このため、地方において積極的に取り組む姿勢が必要であり、全国の土木関係者は、地域の問題として認識し、地域において積極的な貢献を果たすことが重要である。

適応策は、社会的に混乱や誤解もなく円滑に、効果的、効率的に行われることが重要であり、治水など社会資本整備計画の長期的な特性と整合を図ることが肝要である。このため、革新的に行うよりも既定の政策や技術に徐々に組み込んでいく、適応の主流化を行う。ところが、適応の主流化を行うと、どこからが地球温暖化の対応なのかわかりづらいため、地球温暖化の重要性に鑑み重点的な投資をなすべきところが、なされない懸念がある。水の安全保障、国家の安全保障として重点的な投資は必要であり、地球温暖化の適応策の費用を明確に見込むとともに、通常の対応に埋もれないようにすべきである。

適応策の実現段階において、構造物の耐用年数による作り変えは良い機会となるが、災害の発生による復旧の機会も良い機会である。災害の復旧は、基本的に現状の機能を復旧するものであるため、短期間の内に行われる。この際に地球温暖化による影響分を見込む工夫が必要であり、外力の予測精度の向上、影響評価の精度の向上、設計基準への反映など技術的な進展と費用の確保など制度面の確立が必要である。

また、地球温暖化に関する知見やデータ、様々な情報を専門家から一般の国民まで利用可能なデータベースを設置し、誰もが自由にわかりやすく情報を得られることが地球温暖化問題の理解と解決につながる。

地球温暖化の影響は、現段階において不確実性が高く、様々な仮定において試算を行っている。現段階では、影響がどの程度のものか目安として把握できること、対応としてどの程度の対策が必要かわかることが重要で、適応策の基本的な方向性を見出すことが必要である。今後、進歩しているグローバルシミュレーターの成果を活かし、より詳細な検討を進めていかなければならない。

地球温暖化の問題は、気候変動の問題と社会の抱える問題の両方から考える必要があり、地域性のある複雑な構造を持つ問題である。このため、様々な分野の専門家が協力して地球温暖化への対応を検討できる組織「地球温暖化賢人会議（仮称）」の設置を提案する。この会議から政治と行政のリーダーに様々な提言や情報の提供を行い、賢い選択の実現に資する。土木学会では、「土木学会地球環境行動計画－アジェンダ 21／土木学会－」を定めており、これに則りながら地球温暖化に伴う気候変動に対して、土木学会としての具体的な行動計画を考えることが必要となろう。

8 土木学会と土木技術者としての適応策—粘り強く賢い選択

本節においては地球温暖化に対する我が国の土木学会としての適応策の考え方が述べられている。具体的な対策は300項目近くになり、それらは別表に記載されている。考え方や対策の理念としては「粘り強く賢い選択」である。

日本の歴史を紐解くと地震や津波、台風、火山爆発、冷害などの自然災害が数多く来襲しており、幾多の人為的な災難が我が国に降りかかってきたが、それらに対して我が国はしたたかに乗越えあるいはそれを契機に国力を増大させてきた。この日本の国力と国民性を考えると地球温暖化に伴う気候変動やそれに付随する自然条件の変化に対して、「きっとその災難を克服し、これを契機にさらにより豊かで安全な国土を形成していくであろう」とも楽観的には考えられる。しかし日本を襲った歴史的な災難はすべて空間スケールで見ると局所的であり、歴史的時間スケールで見れば瞬間的なものである。それに対し地球温暖化に伴って発生する多くの事象はすべて地球規模グローバルなものであり、当然我が国全体を覆うものである。さらにそれが及ぼす影響の継続時間は100年、1000年スケールであり、その意味で我が国のみならず全世界の人類にとって未曾有の経験となるものである。地球温暖化に対するこの認識を我が国のすべての国民と世界のすべての人々が共有することが近未来から未来にかけて人類が安定した持続可能な繁栄を迎えるための前提条件であろう。しかし全人類や我が国の国民すべてにおいてこの認識の共有という問題一つをとっても、人々の理解力の多様さや興味を持ち続けることの困難さから現実には実現困難なことであろう。発展途上国や先進国そして我が国においてさえ地球温暖化がメディアの継続的ですがすべての国民が真摯に向き合う主要話題であることは少なく、2008年後半の米国の金融恐慌に端を発した世界経済の混乱と低迷は日本国民や世界の人々から地球温暖化問題を遠い彼岸の話題とさせつつある。あるいは過去の話題になりつつあるか少なくとも主要な話題ではなくなってきた。このような世界と日本の情勢の現状と国民性を考慮した上で、本提言が目標とするのは一義的には我が国の土木学会であり、個々の適応策の提言は会員である我が国の土木技術者に向けられている。その理由は地球温暖化と気候変動に対する適応策は哲学、法学や、経済学等のいわゆる文系の学問にも関係しつつ、その多くはきわめて土木技術的であり、土木工学の分野と土木技術者が責任を持って対処せざるを得ない問題群からなっているからである。より簡明に言えば土木技術者のみがこれを組織的に勝未来に向かって継続的に遂行し得る資質と責任を有するからである。

地球温暖化適応策を具現化するためには水の実態と水使用の調査や維持の地球規模のモニタリングを必要とすることは当然であり、国内外の多くの公的な諸機関や大学等の研究機関が既にかなりの部分を担当している。しかしその成果は多くの場合極めて理学的あるいは専門的であり、これを土木工学の問題として捉えるためにはそれらの情報の収集の他に、これから得られる情報に関して何段階かの工学的解釈と大部分の土木技術者への説明のプロセスを必要とする。これらに関して国内の多くの土木工学系の機関がそれを担当することにはなっているが、その成果や知見を土木学会と全ての会員に提示し、実現可能な技術体系としての理解を深めるためには土木学会内に地球温暖化緩和策と適応策に関する常置の委員会を設けることが必要であり、本提言書においてもこれを極めて強く推奨するのである。

以上の理由から本提言書が土木学会全会員にとって地球温暖化と気候変動に対する適応策

を考え、それを実行に移す際の起点となることを望むものである。

参考文献

- 1) 農林水産省水産庁：平成 14・15 年度地球温暖化に対応した漁場、漁港漁村対策調査総合報告書，2007
- 2) 下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会：下水処理水の再利用のあり方に関する懇談会 中間とりまとめ，2008
- 3) 「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的な水資源管理のあり方について」研究会：「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント」について（中間とりまとめ），2008
- 4) 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム：地球温暖化「日本への影響」－最新の科学的知見－2008
- 5) 地球温暖化影響・適応研究委員会：気候変動への賢い適応－地球温暖化影響・適応研究委員会報告書－，2008
- 6) 社会資本整備審議会：水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申），2008
- 7) 日本学術会議 地球惑星科学委員会・土木工学・建築学委員会合同 国土・社会と自然災害分科会：提言 地球環境の変化に伴う水災害への適応，2008
- 8) 自民党特命委員会「水の安全保障研究会」：特命委員会「水の安全保障研究会」報告書，2008
- 9) 土木学会：土木学会誌 07，15-30，2008

温暖化の影響と適応策

気温・水温の上昇

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)		
水関連災害 (沿岸域)	水産業の変化	マリンスポーツの専門学校を作るなどの事業を促進 ----- 養殖、漁業形態の変更
	サンゴ礁の劣化	高温に強いサンゴの移植←外来種等で悪影響を及ぼすものは除く
	沿岸域植生の変化	
水供給	アオコ発生時期の長期化	下廃水処理による栄養塩流入抑止
	水道水の異臭味(カビ臭)の発生時期の長期化	水道水の基準レベルを1ランク上げる
		水源地で浄化し head 差で水道供給を行う
	病原性細菌が環境中で長期間生存する可能性	浚渫(底泥を肥料化する技術の開発)
	積雪量や雪解け時期の変化による流量パターンの変化	
	低温時に問題となるアンモニアの生物酸化処理や凝集処理の効率の向上	
	水ストレス人口の増加	
下水とその処理	不栄養化(富栄養化)を抑制するために栄養塩除去への要求が高まる。	嫌気性処理技術の開発と導入 ----- 栄養塩除去技術の開発と導入
	閉鎖性水域の水質汚濁	処理水の閉鎖性水域バイパス放流
	水温の上昇	冬の暖房に使う
廃棄物関連	嫌気性処理効率の向上	嫌気性処理技術の積極的導入
	臭気問題の発生	一部地域では disposer を導入
	衛生害虫の発生	害虫の駆除
	有機系廃棄物の堆肥化速度の向上	有機系廃棄物の堆肥化促進と利用
水環境	ペットボトル使用量の増加に伴いリサイクル時にCO2が大量に発生	ペットボトルのリサイクルを廃止
	底泥の栄養塩溶出を抑制するような生態系制御技術の開発と適用	浚渫および底泥を肥料化する技術の開発 ----- 水生植物を利用した栄養塩回収技術の開発と適用
	植物プランクトンの増化による赤潮・アオコの発生時期の長期化	下廃水処理による栄養塩流入抑止
	水棲生物の種構成の変化	水温変動を見越した水生植物の植栽
	南方性の生物の侵入	農業用堰の集約、外来種を排除するための配置方法検討

分野	影響	適応策
	飽和溶存酸素濃度の低下及び微生物の活性化による底質の嫌気化と栄養塩の溶出	
都市生活	冷房の使用が増加する。逆に暖房の使用は減少する。	下水処理水や地下水による打ち水による放熱の促進 ----- せせらぎの創出による放熱の促進 ----- 緑化による放熱の促進 ----- 水辺観光産業の活性化
	生ゴミの臭化	一部地域では disposer を導入
	夏期日中の野外活動の過酷化	
	街路樹や雑草等のバイオマス系廃棄物の増加	街路樹落ち葉や雑草のバイオマス資源としての利用技術の開発と実施 ----- 雑草から作るバイオエタノール研究への援助
	媒介ウィルスの伝染	
	食糧危機	
	都市の高温化	風の道を考えた都市設計 ----- 都市計画法の改正 ----- 無法図に設置されている自販機の廃止
農村生活	食料生産適地の変化	農地利用の転換 ----- 品種改良
	耕作時期の早期化	風土と変動する気候にあわせた栽培作物の決定支援システム
	日中の農作業の過酷化	防風や日陰をとるための植樹
	農業用水及び肥料の不足	下水処理水や下水汚泥、浚渫底泥の栄養塩の利用技術の開発と導入
	南方性の生物の侵入	
	有機系廃棄物の堆肥化速度の向上	有機系廃棄物の堆肥化促進と利用
その他	生態系の変化(寒冷種の減少、温暖種の増加)	
	氷河の縮小	
	飢餓	
	栄養不足	
	人口の減少	

降雨・積雪の減少

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)	土砂生産や斜面崩壊、地すべりの発生の素因となる凍結融解作用による表層の風化度の変化	風化防止ネットの取付け
	外力によって川幅変動	
水関連災害 (沿岸域)		
水供給	融雪のタイミングの早期化	ダム貯水池操作の工夫
	融雪水の減少	水利権の見直し
		農作業の季節での適応
		品種や作物での変更
		モニタリングの継続及び精度の向上
下水とその処理	路面凍結防止剤の使用量減少	
廃棄物関連	積雪の減少による冬期ゴミ収集の負担減少	
水環境	融雪水の減少による河川湖沼への春期流入量減少地下水涵養の減少	森林保全
	融雪水の減少による地下水涵養の減少	雨水の地下注入等等積雪に代わる水源涵養法の推進
	融雪用水の取水減少に伴う地下水揚水の減少	
都市生活	アルベド(反射率)の減少	除雪の抑制
	スキー場など雪を利用した娯楽・観光産業の衰退	観光産業に対して人口雪を積極的に使用
	降雪・積雪対策の負担減少	
農村生活	雪解け水の減少	森林保全
	融雪期の出水減少による農作物の変化	
	出水減少による農作物の種類、成長期の変化	
その他		

降雨パターンの変化 1 (渇水対策)

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)	渇水危険度増加	土工施設の弾力的・効果的活用
	地下水位の低下	浸透域の増大による地下水確保
水関連災害 (沿岸域)		
水供給	渇水危険度増加	家庭内・ビル内での循環利用 ----- 下水処理水の再利用 ----- 地下水の涵養及びその水質保全の促進 ----- 水源の分散化、ネットワーク化 ----- 漏水防止 ----- 活性炭吸着や膜処理などの導入 ----- 水利権の見直し ----- 緊急時における水供給体制等の確立 ----- 水源林による土砂保全機能の強化 ----- ダムのオペレーションの高度化 ----- 海水淡水化技術の開発・普及 ----- 雨水の貯留と利用 ----- ダムの新設
	干ばつにより世界で食糧生産が減少し日本への輸出量が減少	
下水とその処理	再利用需要の増大	高度処理技術の開発と適用
		処理水の需要や要求される水質に関する情報の蓄積と処理
		処理雨水の利用や促進するための基準や諸制度の充実
	水供給量の低下から来る、下水混入率の増加	高度処理技術の開発と適用 ----- 処理水の需要や要求される水質に関する情報の蓄積と処理 ----- 処理雨水の利用や促進するための基準や諸制度の充実
廃棄物関連	処理場の不足	処理水の再利用を促進するための処理場の分散化
	乾燥による粉塵問題の発生、その対策のための散水需要の増大	下水処理水、浸出水処理水の散水
		埋立地散水用の水質基準の確立
水環境	河床露出	下水処理水の放流
		下水処理水の環境安全性の向上
	水生生物の生息域の減少	渇水時の水生生物の避難所書の確保 ----- 地下水の涵養促進

分野	影響	適応策
都市生活	渇水危険度増大	カスケード的水利用の促進 ----- 下水処理水の再利用の促進 ----- 下水処理場・処理装置の分散配置 ----- 節水機器の導入 ----- 節水意識の向上 ----- ダムの新設
	干ばつによる食糧輸入量の減少	
農村生活	渇水危険度増大	安全水源としての下水処理水の利用 ----- ダムの新設
	農業用水の不足	安全水源としての下水処理水の利用 ----- ダムの新設
	水運の利用が不可能となる	安全水源としての下水処理水の利用 ----- ダムの新設
	収穫量の減少	農業支援による食糧確保
その他	代掻き水の不足	新たな水源の確保
	山火事の増加	

降雨パターンの変化2(豪雨洪水対策)

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)	洪水の増大	堤防やダムなどの施設能力の向上に努める 新規施設の整備 現有の水工施設の弾力的・効果的活用 ダムの治水・利水容量を効率的・効果的に活用 ダム施設の改良、再生、運用の高度化 観測体制の強化や降雨・流出予測技術の向上 水文気象モニタリングの強化 雨量観測所の増設 降雨予報の精度向上 代表的な中小河川のモニタリング結果から、他の中小河川も評価できるような仕組み作り
	浸水リスクの増大	中枢機能地の重点対応 被害を最小化する土地利用や住まい方 国土構造の再編 高度化した情報技術を用いた既存施設の連携 氾濫域をいくつかのブロックで区切り、洪水氾濫の拡散の抑制 氾濫水の迅速な排水や非常用排水樋門の整備の推進 災害支援体制の強化や防災ネットワークの構築など大規模水害への備えを充実 水災害危険度評価の高度化 雨量観測所の増設 降雨予報の精度向上
	水難事故の増加	初等中等児童および学生にも「実感」できる分かりやすい情報の作成。 水災害・水防災に関する教育と啓蒙(周知活動) 水防災情報配信システムの構築 洪水予報・土砂災害警戒情報や水防警報の予警報等の強化 雨量観測所の増設 降雨予報の精度向上 小学校のカリキュラムに水災害に関する授業の導入 水災害防災演習を通じて市民参加型の避難活動の練習

分野	影響	適応策
	治水安全度の著しい低下	道路や鉄道等の盛土の活用や新たな整備 復旧・復興対策 極端な大規模災害の想定 地域の BCP の立案 施設の整備や操作、維持活動などハード、ソフトを組み合わせた対策が必要
	短時間雨量の増大による河川水位の急激な増加	浸透域の増大 High Water Level を明確に定めて、これを基にまちづくりを行う
	斜面崩壊や土石流の発生頻度の増加、発生規模の増大、異常土砂堆積	モニタリング等による土砂動態を解明と治水、利水、河川や海岸の環境への影響を把握
	冬季洪水の発生	
水関連災害 (沿岸域)	沿岸都市域における洪水増大	遊水池・貯水池の整備 土地利用の変更・規制(住居の移転) 総合的沿岸域管理 排水システムの強化 災害復旧基金、補助金の創設 浸水保険制度 迅速な避難支援 防災訓練・教育、自主防災組織への支援
	沈埋トンネル(臨港道路)の冠水	海岸保全施設の整備・改良
	山火事の増加	
水供給	洪水による取水施設の被害増大	ダム群の容量の再編(治水量と利水容量の振り替え) 発電ダムなどの連携運用 必要に応じ河川取水点の移動 水源の分散化、ネットワーク化
	供給量低下による水不足	(都市・産業・農業)下水処理水の再利用
		(都市・産業)家庭内・ビル内での循環利用
	ダム貯水池への堆砂が急速に進行しダムの機能に支障となる	ダムの事前放流事業
		地下水利用ルールの確立
下水とその処理	再利用需要の増大	地下水涵養・利用
		再利用のための高度処理
		処理水の農業利用
		処理水の農業利用を促進するための基準や諸制度の充実、農家との連携 分散立地を助けるための補助技術

分野	影響	適応策
	雨水対策需要の増大(雨水排除、処理施設・ポンプ施設の洪水耐性の強化)	処理施設の分散立地
		分散立地を助けるための補助技術
廃棄物関連	埋め立て処分場の豪雨被害	施設の豪雨に対する対策強化 ----- 立地選定における考慮
	洪水などによる災害ゴミの増加	立地選定における考慮
水環境	河床露出、鉄砲水等	正常流量の見直し ----- 放水路の新規開削 ----- 出水時水生生物の逃げ場所確保
	流量パターンの変化	正常流量の見直し ----- 代表的な中小河川のモニタリング結果から、他の中小河川も評価できるような仕組み作り ----- 河川敷利用に関する安全基準の見直し
	河床環境の変化	代表的な中小河川のモニタリング結果から、他の中小河川も評価できるような仕組み作り
	生活排水の合流機会の増加による水質悪化	
		河川敷内施設の大水対策
		出水時水生生物の逃げ場所確保
		水源林の確保と保全
都市生活	浸水被害の可能性の増加	雨水貯留・浸透施設の設置 ----- 低地利用の規制 ----- 耐震性のような耐水圧性(設計外力)の基準作成
	土砂災害発生危険箇所の増大・被害範囲の拡大	適切な土地利用・建築規制の実施による流域管理 ----- 砂防施設の機能向上 ----- 貯水池の土砂管理施設の充実
	避難可能な時間の短縮	高層建物等を緊急避難場所と設定 ----- ハザードマップや災害リスクなどの情報を提供し支援 ----- ユビキタス社会の実現(河川水位や氾濫情報、避難経路などの情報提供)
	国家機能の麻痺	中枢機関の立地の分散 ----- 中枢機能集積地域における国家機能麻痺回避システムの構築
	洪水時の浄化槽からの未処理下水の越流と、その後の悪臭・害虫被害	
	都市雨水の排除能力不足	可搬式の特設堤防や排水ポンプ等の整備 ----- 降雪・積雪対策の負担減少

分野	影響	適応策
	突発的は出水による河川利用者への危険性の増大	親水エリア(川水浴場)を設けて、人をそこへ集中させる ライフセーバー制度の導入
農村生活	水田への内水氾濫による稲の被害	遊水地、二線堤、輪中堤、宅地の嵩上げ 浸水危険度の高い農地・湿地での有効な農業利用 浸水危険度の高い地域で農業を営む農家のリスクを軽減するための制度の導入 情報提供や住民等との双方向の情報共有など、地域防災力の向上 災害に強い品種の開発
		災害リスクの提示や保険整備等を活用したインセンティブを提供による土地利用の誘導 洪水時でも漏れない浄化槽、し尿貯槽 土砂災害警戒区域等の見直し(住宅等の新規立地の抑制、既存住宅の移転促進)
		土砂災害発生までの時間短縮による、避難までの時間の短縮
		ユビキタス社会の実現(河川水位や氾濫情報、避難経路などの情報提供)
		風土と変動する気候にあわせた栽培作物の決定支援システム 安定水源としての下水処理水の利用 カスケード的水利用
その他	河口閉塞	

台風・高潮の変化

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)	大型台風による洪水被害	水位観測所の増設
水関連災害 (沿岸域)	高潮の強大化	避難支援
		緩衝帯の確保
		防災訓練・教育, 自主防災組織への支援
		災害復旧基金, 補助金の創設
	高潮増大による, 海岸構造物の機能低下	必要に応じて防波堤・防潮堤の補強
		浸水保険制度
		港湾の施設の整備・改良
		海岸保全施設の整備・改良
	港湾の施設の機能低下	設計外力の見直し
		既存施設の強度検証(余裕高を含めた検証)
	高潮による臨海部の浸水	浸水保険制度
水供給		
下水とその処理	合流式下水道管から河川への直接流入	管径の拡張や下水処理施設の効率の見直し
		台風時の生活排水・工場排水の規制
廃棄物		
水循環		
都市生活	市街地への越水	避難ルートの確保・確認
		高潮堤のかさ上げ
		高規格堤防化、高潮対策河口堰の建設
	堤防決壊	避難ルートの確保・確認
		高潮対策河口堰の建設
		高規格堤防化
	浸水や洪水による被害	避難ルートの確保・確認
		ポンプ新設
農村生活	台風による農作物被害	被害を受けた農作物に対する農家の掛け金負担額の軽減
		浸水危険度の高い地域で農業を営む農家のリスクを軽減するための制度の導入
		ポンプ新設
		農場の移動
その他	停電	緊急用発電機を重要機関の集まり地域に設置

複合災害

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)		
水関連災害 (沿岸域)	地震・洪水・高潮の複合災害の甚大化	複合災害を想定した設計基準の見直し ----- 災害発生時の対応を再検討
水供給	水供給施設の停止	水資源の備蓄
下水とその処理	地震による下水処理施設の稼働停止による感染症の拡大	下水処理施設の耐震化 ----- 起こりうる感染症への対策
	下水浄化施設の停止およびそれに伴う感染症の危険	下水処理施設の耐震化 ----- 起こりうる感染症への対策
廃棄物	地震後の大雨による有害物質の溶け出し	余裕を持った処理施設の設計
	災害廃棄物増加による処理施設能力の不足	余裕を持った処理施設の設計
	廃棄物による土壌汚染物質の流出	
水循環		
都市生活	地震による堤防破壊による内水氾濫	堤防の耐震化
農村生活		
その他	雷、竜巻、突風による被害	

海水面の上昇

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)	浸水リスクの増大	排水施設の増強 ----- 適切な土地利用・建築規制の実施による流域管理
	河口部から河川下流域の河床上昇	堤防かさ上げ ----- 高潮対策河口堰の建設 ----- 海岸浸食の観点からも総合土砂管理の推進
	潮止め堰の塩水遡上抑制効果の減少	潮止め堰の設計の見直し ----- 塩水遡上の遡上抑制施設の設置
水関連災害 (沿岸域)	堤防高の不足	設計外力の見直し ----- 既存施設の強度検証(余裕高を含めた検証) ----- 施設更新などに併せて、増大する外力を見込んだ高潮堤防の嵩上げ ----- 高潮対策河口堰の建設 ----- 港湾の施設の整備・改良
	防波堤・防潮堤の外力に対する強度不足	排水設備などの強化 ----- 避難支援 ----- 防災訓練・教育, 自主防災組織への支援 ----- 災害復旧基金, 補助金の創設 ----- 浸水保険制度
	臨海部の浸水	沿岸漂流砂の制御、海岸の保全・再生 ----- 河川・海岸の総合的土砂管理 ----- 斜板堤など離岸堤の整備
	海岸浸食の進行がもたらす、砂浜の消失と海水浴等レジャー施設の衰退	沿岸漂流砂の制御、海岸の保全・再生 ----- 河川・海岸の総合的土砂管理 ----- 斜板堤など離岸堤の整備
	高潮の危険性が増大	海岸保全施設の整備・改良 ----- 必要に応じて防波堤・防潮堤の補強 ----- 高潮対策河口堰の建設
	地下水への塩水侵入	
	地下水位の上昇	
	マングローブ林の消失	
	サンゴ礁の消失	
	港湾の施設の機能低下	
水供給	地下水の塩水進入	地下水涵養、利用制限
	飲み水や工業用水の利用が困難になる	海水淡水化と下水処理水の利用

分野	影響	適応策
下水とその処理	海岸の流入下水の塩水侵入	管渠の適切な管理
		雨水貯留・地下浸透(地下水への海水侵入を抑止するため)
	雨水排除が困難化	雨水ポンプの強化
廃棄物	海域埋め立て処分場の浸水	堤防の高化
		雨水排除能力の強化
水循環	海面水位の上昇	遡上状況に応じた遡上抑制ゲート等の設置
	湖沼へ侵入した塩水が湖沼低層に溜まり、低層の貧酸素水塊の形成	必要に応じて水につかる前に栄養塩を含む土の除去
都市生活	ゼロメートル地帯の増加、地価低下	住民は退去
		ゼロメートル地帯では高層住宅、または、産業(工業や物流)利用、または緑地利用
		スーパー堤防化
		高台の建設
		堤防のかさ上げ
	海水浴場の消失	内水排除能力の強化
農村生活	地下水の塩水進入	淡水の地下浸透の促進
	標高の低い耕地の減少	計画的な撤退
		堤防のかさ上げ
	土壌の塩類化	内水排除能力の強化
その他	淡水レンズの減少	土地利用方法の変更
	海岸侵食の激化	海岸植生の利用による砂浜侵食対策

衛生害虫の北上

分野	影響	適応策
水関連災害 (流域・河川)		
水関連災害 (沿岸域)		
水供給	貯水池への害虫の死骸や卵の混入量増加	直結給水の奨励 ----- 雨水貯留槽内の蚊対策
下水とその処理	下水管内での害虫産卵量の増加	湿地処理は適切に実施 ----- 下水管や処理施設での衛生昆虫対策 ----- 雨水貯留施設での衛生昆虫対策
廃棄物		確実に覆土
水循環	害虫の増加による、生態系バランスの変化	魚類等を利用した駆除
都市生活	デング熱・マラリア等	魚のいない水たまりの駆逐 ----- 公衆衛生の改良
農村生活	デング熱・マラリア等	魚のいない水たまりの駆逐 ----- 害虫による農作物被害
その他		浸水保険制度

緩和策（特に省エネ）との関係より派生する諸課題

分野	緩和策
水関連災害 (流域・河川)	低炭素型及び水災害適応型のまちづくり(レイクタウンや集約型まちづくり)
水関連災害 (沿岸域)	海洋エネルギーの活用(洋上風力発電, 波力発電, 潮流発電)
水供給	上流取水&重力送水 ----- マイクロ水力発電 ----- 各種省エネ技術導入
下水とその処理	重力送水 ----- マイクロ水力発電 ----- 下水熱利用 ----- 嫌気性処理 ----- 省エネ技術導入 ----- 時間帯により変動するエネルギー価格への対応 ----- バイオガス利用・下水污泥炭化 ----- 脱水技術の向上 ----- 脱水性と污泥の組成との関連の精査 ----- 下水中有機物の積極的污泥化 & バイオガス化
廃棄物関連	嫌気性処理 ----- バイオガス利用 ----- 固形燃料化 ----- バイオエタノール化
水環境	
都市生活	地下水・下水処理水を利用した打ち水や建物冷却 ----- 地下水・下水処理水を利用した撒水 ----- 都市河川の緑化と流域の公園や緑道などと緑のネットワークを形成し、風の道を確保 ----- 太陽光発電の推進 ----- 自然エネルギー電力の買取価格を高くする
農村生活	重力送水 ----- バイオマスのバイオエタノール化 ----- マイクロ水力発電 ----- 害虫に強い品種の開発
その他	

※ 本表に示す地球温暖化と気候変動に関する影響・適応策は適応策小委員会が 2009 年 3 月時点において取りまとめたものであり、土木学会全会員とともに今後とも更新していく予定である。