

研究展望

21世紀の環境工学

ENVIRONMENTAL ENGINEERING IN THE 21ST CENTURY

寺島 泰

Yutaka TERASHIMA

フェロー会員 工博 京都大学工学研究科・環境工学専攻教授
 京都大学放射性同位元素総合センター長
 (〒606-0081 京都市左京区吉田本町)

Key Words : environmental protection, global environment,
 recycling, symbiosis, value sense,
 socioeconomic system

1. はじめに

顧みれば、人類はその歴史の中でもきわめて短期間に、特に産業革命から現代に至る短い期間に、科学技術と資本主義制度の発展および地球規模の資源の消費を基礎として、産業活動の拡大と多様化および都市への人間の集中と活動の多様化を急速に進め、今世紀には現代の高度技術化社会および高度経済社会に象徴される近代的文明社会を実現し、多くの経済的・物質的恩恵と多様な生活様式の享受や社会福利の増進を可能にした。しかしまたその過程で、地域的な各種社会基盤施設の不足、都市機能障害、都市衛生悪化などの都市問題、都市化地域の防災問題、環境汚染や環境破壊に起因する地域環境問題、秩序や経済に関する複雑な社会問題なども招来するに至った。さらにまた人類は、地球規模では世界人口急増の問題、南北経済格差拡大の問題、資源の有限性と開発・利用に関する南北問題、民族間問題、そして温暖化その他の各種地球環境問題などに直面している。

近代文明とその社会が抱えるこのような多様な問題は相互に絡みあっており、環境問題はこれらの複雑な連環のなかにある。従って次世紀に求められる環境工学のあり方は、こうした背景の十分な理解の上に立って考究されねばならないが、これは言うまでもなく筆者一人の能力を越える課題である。しかし、環境問題の重要性と対応の緊急性を鑑みて、それへの挑戦は環境工学の教育研究に携わる一員としての義務でもある。こうした思いは、先年、本学会環境工学委員会委員長として第7部門(環境部門)創設を推進する責任の認識ともなった。

従って本報では、主としてこれからの環境工学を担う若い研究者、土木工学分野から環境問題に取り組む人達を対象に、問題と対応の変遷および本学会における環境

工学研究基盤の拡充の意義にも触れつつ、次世紀の環境問題と基本的課題、環境工学が持つべき視点などについて、既往の議論も参考としつつ筆者なりに論点を提示し、参考に供したい。

2. 環境衛生問題の変遷と環境工学

(1) 環境衛生問題の変遷

a) 日本における概要と原因の特徴

社会、産業と経済が今日までに発展する過程で、環境問題の原因、様態と影響およびそれらの空間的および時間的規模は変化した。原因から分類すれば、わが国においては、明治時代に始まる都市の近代化の過程では衛生的な飲料水の供給、ごみ・尿尿の収集・処分など都市衛生問題、第2時世界大戦終結以来の都市の復興と都市への人口集中ならびに都市活動の拡大と多様化の過程では、ごみ・尿尿の処理処分、下水道整備および処理、浄水処理などの都市衛生問題のほか、都市河川汚濁、自動車排気による大気汚染、交通騒音などの環境問題など、都市環境問題が、そしてわが国近代化を支えた基幹産業の発展期における鉱業等による大気汚染、水質汚濁、戦後以来の産業発展と多様化の過程における大気汚染、水質汚濁、騒音、悪臭、熱汚染、土壌・地下水汚染、産業廃棄物問題など、多様な産業環境問題が発生した。なお以下では、地域におけるこれらの問題を地域環境問題と呼び、特に区別しなければ衛生問題も環境問題に含めて呼ぶ。そして今日、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、砂漠化、森林減少、その他の地球規模の環境変化など、地球環境問題が顕在化している。こうした問題変遷の概要を社会経済活動の特徴と対比して表-1に示す。

表-1 社会経済の発展と環境問題

時代と社会・経済	衛生・環境問題と法制度	関連機関・組織
<u>明治 (元年:1868)</u>		
文明開化	鉱業公害 鉱毒・煙害	大日本私立衛生協会 (16年) (公衆衛生学会:昭和22年)
殖産振興	伝染病 (コレラ, 赤痢, 疫痢, 腸チフス, 他)	東京帝国大学・衛生工学講座 (20年:土木工学科, Prof.W.K.Burton)
富国強兵	伝染病予防法 (30年) 汚物掃除法 (33年) 下水道法 (33年:1900年)	京都帝国大学・衛生工学講座 (土木工学科第3講座:30年)
<u>大正 (1912)・昭和 (戦前)</u>		
軍勢力強化 紛争・侵略	局地的工場公害 (水質・大気) 都市衛生問題	空気調和・衛生工学会 (大正6年) 産業衛生学会 (昭和4年) 水道協会 (昭和7年)
<u>昭和 (20年:1945:~戦後)</u>		
戦後復興	尿処理問題	公衆衛生院・衛生工学部 (昭和13) 尿処理対策全国協議会 (29年) (廃棄物学会:平成2年)
高度経済成長 (30年代~) 重化学工業化 大量生産	産業公害 (大気・水質・騒音) 水俣病存在の社会化 (30年) 水質保全法, 下水道法 (33年) コンビナート公害 (35年~)	北海道大学衛生工学科 (32年) 京都大学衛生工学科 (33年) 大気汚染研究全国協議会 (34年) (大気環境学会:平成7年)
人口都市集中 大量消費 大量廃棄	都市河川汚濁・下水道問題 産業廃棄物問題 都市ごみ問題 交通騒音問題 都市大気汚染・光化学スモッグ 自然破壊	土木研究所 (下水道研究室:34年) (下水道部:49年) 東京大学都市工学科 (37年) 土木学会衛生工学委員会 (37年) (環境工学委員会, 平成6年) 産業公害防止協会 (37年) (産業環境管理協会:平成5年)
大量輸送 大量移動 大規模建設	公害対策基本法 (42年) 大気汚染防止法 (43年) 騒音規制法 (43年) 廃棄物処理法 (45年) 騒音環境基準 (46年) 水質汚濁防止法 (46年) 水質環境基準 (46年) 悪臭防止法 (46年)	大阪大学環境工学科 (43年) 環境庁発足 (46年) 水質汚濁研究会 (46年) (水環境学会:平成3年)
価値観の多様化 生活様式の多様化	化学汚染 (PCB問題, 47年) (Cr汚染, 50年)	下水道協会 (39年)
<u>石油危機 (48年:1973)</u>	国連人間環境会議 (47年:ストックホルム)	
産業構造の変化 省エネルギー・省資源 安定経済成長	大気環境基準 (48年) 化学物質審査規制法 (49年) 生活排水問題 閉鎖性水域富栄養化 湖沼のN,P環境基準 (57年) 土壌・地下水汚染調査 (57年~)	国立公害研究所 (49年) (環境研究所:平成2年)
先端産業・4次産業 社会資本整備 脱工業化・情報化 バブル景気 (63年~)	環境影響評価閣議決定 (59年) 土地乱開発・自然破壊 温暖化等地球環境問題 (63年~) ゴルフ場農業問題 (2年~)	土木学会環境システム委員会 (62) 環境科学会 (63年)
<u>平成 (元年:1989~)</u>		
空洞化 バブル崩壊不況 (3年~)	土壌汚染環境基準 (3年) 再生資源利用促進法 (3年) 環境と開発国連会議 (4年:地球サミット)	京都大学環境地球工学専攻 (3年) 土木学会地球環境委員会 (4年) 東京大学都市工学専攻 (5年) (大学院重点化)
ポスターレス化 グローバルスタンダード 制度疲労	環境基本法制定 (5年:1993) 環境基本計画 (6年) 企業の環境管理・監査 (ISO14000シリーズ・JIS:8年~)	環境経済・政策学会 (8年) 京都大学工学部地球工学科 環境工学専攻 (8年)
財政構造問題 不良債権問題 金融システム問題 戦後最大の不景気	内分泌系攪乱化学物質汚染 (ダイオキシン, 環境ホルモン) 温暖化防止京都会議 (COP-3:9年) プエノスアイレス会議 (COP-4:10年)	北海道大学環境工学科 (9年) 大阪大学地球総合工学科 (10年) 環境共生学会 (10年) 環境工学教授協会 (10年)

b) 戦後の環境問題と対策の変遷¹⁾

経済社会の急速な発展、特に第二次世界大戦後の発展は改めて述べるまでもないが、状況の一部を数値的に示すと、世界においては例えば1960年から1990年までの30年間に、鉄鉱石、銅鉱石、亜鉛鉱石、1次エネルギー(石油換算)の生産消費は、それぞれ2.2倍、2.0倍、2.0倍、2.4倍に増大した。日本においては、1940年(昭和15年)から1990年の50年間に、鉄鉱石、アルミニウム、1次エネルギーの消費はそれぞれ50倍、147倍、12倍(世界消費の1/20)に増加し、実質国民支出、家計消費はそれぞれ17倍、92倍(33万円)に増大した²⁾。

こうした急速な産業発展と都市化、そのための資源の大量消費、生産物の大量消費と廃棄、大量輸送などが環境問題を生むことになるが、特に1960年代以後の産業発展の時期には、重工業や化学工業の大量生産に伴う大気汚染と水質汚濁が顕在化し、人の生命と健康に直接に影響する産業公害が大きな社会的問題となった。有機水銀汚染による「水俣病」、カドミウム汚染による「イタイイタイ病」、コンビナート大気汚染による「四日市喘息」、有機水銀汚染による「阿賀野川水俣病」など、国際的にも知られることとなった産業環境問題(公害)が発生した。さらにまた、都市への人口集中と大量輸送、大量廃棄、下水道と廃棄物処理施設などインフラストラクチャーの整備の遅れなどが原因となって、生活排水による水質汚濁、廃棄物の不適切な処理・処分と環境汚染、自動車排気による健康影響、航空機や鉄道・道路交通の騒音問題、これらに関する訴訟など、都市衛生問題や都市・生活環境問題が発生した。

このような諸環境問題の顕在化に対し、水・大気・騒音・悪臭・土壌などに関する環境基準と規制法・基準の制定と強化、公害防止設備や都市環境保全施設の整備も、特に1960年代末期から進められ(表-1)、環境問題、なかでも産業公害の危機的状況は大幅に改善されることとなった。特に、エネルギー危機後には、産業構造の省エネルギー型への転換が着実に進行したことも改善を助長した。さらに現在では、ISO 14,000シリーズの国内規格化(JIS)と企業活動への取り入れおよび企業の地域環境保全への取組みなどが進んでいる。しかし、富栄養化対策としての排水処理、いまだに改善の進まぬNOxによる大気汚染、酸性雨対策としての排ガス処理、有害な金属や有機溶媒などによる工場敷地の土壌・地下水汚染、農業等による水源汚濁、多様な化学物質、なかでも最近では内分泌系攪乱物質(環境ホルモン)による環境汚染、悪臭や工場騒音・振動などの対策、また大量かつ多様な産業廃棄物および副産物のリサイクルと安全かつ経済的な処分、そして最終処分場の確保など、なおまだ解決の努力を要する問題は多く、また緊要な課題でもある。また後述の地球環境問題、特に温暖化原因物質、

炭酸ガスの排出削減などは、産業界における今後の大きな課題となっている。

都市・生活環境問題は今後も取り組まねばならぬ問題である。生活排水によるローカルな水質汚濁の改善は、下水道システムの整備と浄化槽の普及により進行しつつある。しかし、下水道はまだ56%(1997年)の普及に止まっており、また増加する下水汚泥の処理対策はなお大きな課題である。また下水の高度処理の普及はなおまだきわめて不十分であって、窒素・リンに起因する湖沼や閉鎖性海域の富栄養化など、流域、沿岸など広域からの負荷による汚染と影響が続いている。水源汚染の多様化に対する水源保護と浄水システムの高度化、流域の合理的な水質管理と水利用管理も課題である。

都市廃棄物の全量焼却というわが国の方針によって焼却プラントの整備が進み、現在、都市廃棄物の75.5%(1994年)が焼却処理されている。しかし、多様な成分のごみの焼却に伴う排気の影響防止はいまなお大きな課題である。重金属類、NOx、HClなどに加え、プラスチック等の燃焼に起因するダイオキシン、その他の内分泌系攪乱物質(環境ホルモン)による周辺環境の汚染が問題となり、廃棄物処理の広域化とプラントの大型化が計画されているが、新たな焼却プラントの設置に対する地域合意の形成は常に困難に遭遇している。また最終処分場の環境保全対策も進められ、最近では地下水汚染防止に関する構造基準も強化されたが、処分場の建設も常に困難に遭遇し、最終処分の残存容量も逼迫している。こうした状況を背景に、廃棄物発生抑制、廃棄物の分別収集とリサイクルなどが基本的な課題となっている。

自動車排気中汚染物の減量も規制や改善技術によって進みつつあるが、都市交通は増加しており、特にNOxによる大気汚染の対策、また都市交通・高速道路騒音や鉄道・航空機騒音、低周波振動などの防止もなお大きな問題である。

そして、以上のような地域環境問題は、大量生産・大量輸送・大量消費・大量廃棄を追求する社会、そのシステムに起因するものであり、こうした社会の転換が基本的課題とされている。

一方、世界的には、社会の工業化と発展に伴い、先進国はもちろん途上国においても地域環境問題が発生し、さらに現在、先進国を中心とする資源の大量消費は地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、砂漠化、森林減少、その他、国境を越え、世代を越えて影響する地球規模の環境変化と言う問題を生み出すに至った。

以上のように、地域社会における人間活動が拡大・多様化されるに伴い、環境問題の原因や様態が複雑化し、時間・空間スケールが広がり、その他の特徴も変化してきた。それらの要点を表-2に示す。

表-2 環境問題の多様化

問題		
生活衛生, 環境汚染	環境破壊, 地域環境の悪化	地球環境変化
問題の原因		
産業活動・都市活動	都市・地域開発	地球規模の人間活動
問題の型式		
産業関連型, 都市・生活様式関連型	開発関連型	人間活動関連型
問題の空間スケール		
住居環境	都市環境	地域環境
問題の時間スケール		
現在	近未来	後世代
汚染		
水質汚濁, 大気汚染	生物汚染, 土壌・地下水汚染	生態系汚染
影響		
直接的, 急性	間接的, 慢性	複雑化, 遺伝的
汚染物		
有機物, 重金属	栄養塩類, 農薬	温暖化物質
粉塵, SO _x , HCl	NO _x , 有害化学物質	オゾン層破壊物質
騒音・振動	放射性物質, 廃熱	内分泌系攪乱物質
悪臭	日照, 低周波振動	酸性降下物

c) 国際的な認識

地域環境問題から地球環境問題への問題の拡大, これらの進行の状況と予測の結果などから, 環境問題は地球の自然・生態系を支配し, ひいては人類の未来に危機をもたらす重要な問題であることが国際的に認識され, 現在, 国際的に多くの取組みが展開されている。ここでは国際認識の主なものを例示しておく。

A. 人間環境宣言 (ストックホルム国連人間環境会議: 1972年)

「人は環境の創造物であると同時に, 環境の形成者である。環境は人間の生存を支えるとともに, 知的, 道徳的, 社会的, 精神的な成長の機会を与えている。…人間環境を保護し, 改善させることは, …主要な課題である。…」

B. 環境と開発に関するリオ宣言 (環境と開発に関する国連会議: 1992年)

「人類は持続可能な開発の中心にある。人類は, 自然と調和しつつ健康で生産的な生活を送る資格を有する。…」

C. WHO の認識 (1992年)

「人類の健康は, 環境資源の継続的な利用可能性と健全な環境に依存した, 極めて重要な課題である。環境問題は新たな広がりをもち, 世界中で環境は, …変わりつつある。…環境破壊による健康に対する悪影響は明らかである。」

そして現在, 国際社会の「持続可能な発展 (Sustainable Development)」を目標に, 先進社会を中心に社会の変革を図り, 自然と調和した社会経済活動を実現することが人類の大きな課題となっている。

(2) 環境衛生工学教育研究の展開: 衛生工学から環境工学へ

a) 大学

都市衛生問題から今日の環境問題への変遷の過程で, 教育と研究も様々に展開されてきた。溯れば, 明治20年には東京帝国大学の創立とともに土木工学科に衛生工学講座が開設され, 西欧科学技術を修めた人材が輩出されるとともに, その後に設置された帝国大学においても衛生工学あるいは関係の講座が順次設けられて, それら人材の系譜の中で, 関連機関等も含めて都市衛生工学の教育研究が推進されてきた。戦後の環境・衛生問題の激化過程では, 昭和30年代に入って北海道大学衛生工学科, 次いで京都大学衛生工学科, 東京大学都市工学科, 40年代には大阪大学環境工学科など, 学科構成による教育研究も実施されることとなり (表-1参照), そして今日, 大学院の重点化に伴い, 東北大学, 九州大学, 他を含めて都市衛生問題から地球環境問題までを幅広く視野に収めた組織が再構成され, 多様化した環境問題に対応すべく教育研究が展開されることとなった。他の多くの国公私立大学等においてもこうした展開の努力がなされていることは言うまでもない。こうした変遷とあるべき方向については本論文集の創刊にあたって, 北海道大学総長丹保憲仁博士が詳述⁹⁾されているので参照されたい。

なお参考までに, 上記学科の大学院重点化後の専攻組織を表-3に示す。土木, 資源, 建築, 環境, 船舶海洋などの中での再編によって新しい方向を生み出そうとする努力が見られる。また11年度より東京大学ではより広い分野から成る環境学専攻もスタートする。学術分野における国際的な評価と競争が進むなかで, scrap and buildの必要性はさらに大きくなると見られるが, 「環

表-3 大学院重点化と環境工学関連専攻

北海道大学	東京大学	京都大学	大阪大学
衛生工学科 (昭:32)	都市工学科 (昭:37)	衛生工学科 (昭:33)	環境工学科 (昭:43)
社会学系 (平:9)	都市工学科 (平:5)	地球工学科 (平8)	地球総合工学科 (平10)
環境工学科		環境工学コース	環境工学コース
大学院 (専攻・大講座・分野)			
都市環境工学専攻	都市工学専攻	環境工学専攻	環境工学専攻
都市環境計画学	[都市工学]	[環境デザイン工学]	環境デザイン学
都市空間計画学	都市計画	環境システム工学	都市環境デザイン学
都市防災学	都市計画	[都市代謝工学]	境設計情報学
[環境管理計画学]	都市デザイン	[都市衛生工学]	環境システム学
交通システム工学	住宅・都市解析	環境マネジメント工学	[環境マネジメント]
交通システム計画	都市安全国際都市計画	[水環境工学]	[環境エネルギーシステム]
交通施設管理工学	都市交通計画	[大気・熱環境工学]	[気圏環境工学]
交通制御安全工学	都市環境工学	[音環境工学]	[生物圏・水環境工学]
建築計画学	[都市環境計画]	物質環境工学	人間行動学 (協力)
建築史意匠学	[水環境・都市資源	[環境質評価 (協力)]	機能強化再生学 (協力)
住環境計画学	管理工学]	[環境保全工学 (協力)]	
空間形態学	[都市環境制御工学]	[放射能環境動態 (協力)]	
人間環境計画学	都市環境システム (協力)	[放射性廃棄物管理 (協力)]	
建築環境学	[環境影響評価 (協力)]	環境地球工学専攻	
[環境人間工学]	環境学専攻 (11年4月予定)	[環境情報工学]	
[環境システム工学]	(新領域創成科学研究科)	人間環境設計学	
環境衛生工学	社会文化環境学	水域環境工学	
[水環境施設工学]	環境人間学	地圏工学	
[水質変換工学]	環境社会文化学	都市環境安全工学	
[環境リスク工学]	環境空間情報学	気圏工学	
環境資源工学専攻	[空間環境工学]	[環境リスク工学]	
環境保全システム工学	建築環境計画学	環境構成材料学	
[大気環境保全工学]	社会環境予測評価学	住居空間工学	
[水環境保全工学]	情報社会環境学	水文循環工学 (協力)	
地殻環境工学	自然環境学 (5分野)	[環境微量汚染制御 (協力)]	
水圏工学	環境システム学 (6分野)	(同専攻は従来型講座構成)	
河川水資源工学	人間環境学 (6分野)	エネルギー社会環境科学専攻	
沿岸海岸工学	人工環境学 (5分野)	(エネルギー科学研究科)	
応用水文学	国際環境基盤学 (6分野)	[エネルギー環境学]	
地殻資源工学		他 (省略)	
資源地質学	[] は、旧衛生・都市・環境工学分野に基づく分野あるいは講座		
資源開発工学	大講座は複数の分野で構成		
資源環境工学	(協力) は研究所等による協力講座あるいは協力分野		
廃棄物資源工学	北海道大学: 大学院を旧土木・衛生・建築・資源工学の専攻等で再編		
[廃棄物処分工学]	東京大学: 大学院を旧建築・都市衛生系講座と協力講座で再編		
資源再生工学	京都大学: 学部は旧土木・交通土木・衛生・資源工学の学科を統合		
[廃棄物管理工学]	大阪大学: 学部は旧土木・環境・船舶海洋工学の学科を統合		

境」はそのなかで主要な視点として一般化の方向にある。

b) 研究機関等

国の機関では環境研究所、公衆衛生院、土木研究所、資源環境研究所、港湾研究所、気象研究所、水産試験所、工業技術院工業試験所、その他において環境・衛生問題の研究が進められ、地球環境研究所(文部省)の設立も推進中、地球環境戦略研究機関(環境庁)も計画されている。なおこれら国の機関は、省庁統合に際して再編さ

れることになるが、統合計画の段階においても事業の実施官庁、監督官庁など機能からの制約は大きく、環境行政の一元化は必ずしも貫徹されていない。また地方自治体の環境関連研究所・試験所などにおける研究も多様なものとなっている。

c) 学会等

学会等における環境衛生問題への取り組みを見ると、明治から戦前に設立された公衆衛生学会、土木学会、空気調和・衛生工学会、産業衛生学会、水道協会などのほ

か、環境衛生関連学会として戦後に大気環境学会、水環境学会、騒音制御工学会、環境科学会、廃棄物学会、リスク学会、環境経済・政策学会、環境共生学会、下水道協会、型式浄化槽協会、空気清浄協会（設立順不同）、その他、あるいはこれらの前身が設立された。また工学、理学、農学など分野における既存の他の基幹学協会や、それらの分野でさらに専門分化された多くの学会等においても分野専門的な環境研究が展開されている。

上記の環境衛生関連学協会の特徴は、これらの多くが環境媒体・要素や対象事業別に縦割的に専門分化していることであり、総合的かつ共同的なアプローチが益々不可欠となる環境問題研究を円滑かつ早急に推進するうえで、横への連携を実際かつ有効なものとするのが大きな課題である。学術分野の専門分化は必然ではあるが、そこに埋もれて最終目的が見失われないよう、境界領域をカバーする試み以上の努力が必要であろう。一例であるがこうした必要性の認識から、筆者は土壌・地下水汚染問題に関して関連学会が持ち回りで企画開催する研究会を提案し、1991年から7回を開催した。表-1には主要な関連学協会の設立時期も記載した。

d) 土木学会における環境問題への取組みの展開

1) 委員会活動から部門活動へ

本学会における環境衛生問題の研究は、当然のこととして大学等における上記のような教育研究の変遷を反映し、結果として公衆衛生学会に次いで長い歴史を持つといえる。また学会の常置委員会として昭和37年には衛生工学委員会（平成6年に環境工学委員会）、この委員会に設けられた環境問題小委員会が格上げされて昭和62年には環境システム委員会が、そして平成4年には部門横断的に地球環境委員会が設置されたが、他の多くの常置委員会においても、小委員会や部会等の活動によって土木環境問題への取組みが進められてきた。さらにこれらの活動を基盤に平成8年には環境関係の新部門として第7部門がスタートした。工学分野の多くの既存学協会、例えば機械学会、建築学会、工業化学会、石油学会、化学工学協会などにおいても主として環境汚染防止技術の研究開発等に関連した活動が行われているが、環境関連の部門や常置委員会については、機械学会に環境工学部門が、建築学会に環境工学委員会、地球環境委員会が、石油学会にエネルギー・地球環境部会が設置され、取組みが進められている。化学工学会や化学会には見当たらず、一時的組織や研究発表による活動のレベルに止どまっているものと見られる。こうした状況からすれば、土木学会における環境工学研究は重要であり、また基幹学会として先導的な活動が期待されているといえる。

この意味で、土木学会80年余の歴史の中で、環境関連研究の総合化と体系化とを可能とする第7番目の部門が

創設されたことは、21世紀の新しい土木工学の役割を果たすうえで、きわめて有意義な基盤を与えるものと期待される。

2) 土木学会における環境研究

ところで、本学会における環境関連の課題と研究も多様に拡大されてきた。

すなわち、衛生的な水の供給、尿尿・下水対策、都市ごみ対策、水質汚濁対策など、都市衛生の確保に始まった課題は、今日、周知の通り多様に拡大されている。

① 上下水道、廃棄物・排水・排ガスの処理などの都市衛生・産業環境の問題

② 水質汚濁、大気汚染、騒音・振動、土壌汚染、悪臭等の地域環境汚染の問題

③ 交通・運輸、水資源・エネルギー供給など各種社会基盤システムの運用や施設建設・土地開発などの、地域環境への影響や環境との調和、すなわち地域環境調和の問題

④ 地球温暖化、気候変動、海面上昇、酸性雨、砂漠化、オゾン層破壊、国際河川・海洋の汚染、途上国環境衛生問題など、地球環境の問題

⑤ 人工物と自然の融合、ミティゲーション、景観やアメニティなど高度要因に富む環境空間の創出、自然的環境の造成など、多面的環境創造の問題

またこれらに関する研究課題と研究手法は以下のように展開される。

A. 各種環境問題それぞれや複合問題に係る現象・原因の分析、機構・機能の解明とモデル化・システム化、現象および影響の予測・評価の手法、規準化、環境質モニタリング手法、ならびに上下水道、廃棄物・排水・排ガス処理など都市・産業環境施設・システムの機能設計・装置設計・運転管理手法と技術など、問題のハード面を中心に、生物・生態学や物理・化学的な原理、工学および土木工学の基礎ならびに環境工学手法等によって追究する、都市衛生・地域環境・産業環境など地域環境問題についての研究

B. 各種社会基盤システムの建設・運用と環境システムとの調和等の問題を対象に、システム相互関係の分析、影響要因と影響の分析、総合システム化、システムの目標分析・概念設計、土木環境計画、環境政策・制度、総合管理、多元的評価法など、いわゆる問題のソフト面を中心に、環境科学・工学、当該社会基盤工学、土木システム分析や土木計画学のみならず、社会・経済学など関連科学・工学を総合して追究する、社会基盤システム環境調和に関する研究

C. 関連の各種地球環境問題を対象に、原因および影響機構の解明、影響の予測と評価、抑制方策、ならびに諸影響の対策、政策、国際協調など、問題のハードおよびソフト面について、当学会既存の各部門における各専

門分野からの追究を枠組みとし、環境科学・工学、社会科学などを基礎に、土木工学を総合して実施する地球環境問題研究

D. 人工物と自然との融合化、ミティゲーション、景観や快適性など高度要因を有する環境空間や自然的環境の創造などの問題を対象に、要素・要因の分析、構造の分析および機能の解析、心理的・感覚的の評価、多面的環境創造の計画・設計法など、問題のハード面およびソフト面について、関連各部門における各専門分野からの追究を枠組みとして、河川、海岸、港湾、交通、都市その他の各専門土木工学を基盤に、建築学、生態学、心理学、社会学など関連工学・科学を総合して行う多面的環境空間創造の研究

3) 土木学会の責務と環境研究

土木工学は人間生活と環境との全体性に関する主要工学であり、言うまでもなく環境問題の研究と対策において果たすべき責務はきわめて大きい。ところで、国連「環境と開発」会議において採択された「アジェンダ21」は、「持続可能な開発」を実現するための行動計画策定の基礎となるものであり、わが国では環境基本法が制定され、またアジェンダ21/日本政府が策定されたが、本学会においても関係者の努力によって「土木学会地球環境行動計画—アジェンダ21/土木学会」がまとめられ、1994年3月の理事会で採択されている。これは、第1章・地球環境問題と土木工学、第2章・土木学会の行動計画、第3章・会員に期待される行動原則、まとめから成るが、ここでは第2章2節の土木学会が取り組むべき課題の表題のみを列記しておく。詳細は本文⁴⁾を参照されたい。① 地球環境の改善に貢献する土木工学の形成、② 人類と生物の共存を可能にする新しい土木工学の展開、③ 温暖化・機構変動の影響構造の解析と対応技術・システムの開発、④ 資源循環型国土、都市づくりの技術開発、⑤ 酸性雨、海洋汚染等、種々の地球環境問題の解決に貢献する土木工学の構築と技術開発、⑥ 国際的な土木建設事業実施の指針と技術の発展、⑦ 途上国土木工学の発展と人材養成の支援、⑧ 課題—③④⑤に関わる途上国協力などが挙げられている。また、21世紀の土木工学のあり方についての展望⁵⁾も本学会論文集に発表されているので、ぜひ参照されたい。

持続的発展と言う命題の下に、地域および地球規模の環境問題、社会基盤のあり方や環境調和、新たな環境創造などの個別のかつ総合的な研究の進展や、これら研究に関する国内・国際学術交流および途上国技術援助などの進展を図ることは、土木工学分野に課せられた責務であり、第7部門分野を中心に、他部門分野との連携のもとに積極的かつ強力に進められねばならない。そこで、以下では研究教育のさらなる展開を期待しつつ、さらに21世紀の環境に係る基本的問題と課題、研究の基本的視

点などに言及してみたい。

3. 21世紀の環境問題と基本的課題

(1) 21世紀環境問題と世界構造

a) 問題の緊急性：破局の予測

21世紀の環境問題が、途上社会を中心とした生活衛生問題、途上社会および先進社会における各種の地域環境問題、そして地球規模の環境問題であり、いずれもが重要かつ緊急の問題であることは言うまでもないが、なかでも人類の生存基盤に関わる地球規模の環境変化は、破局の可能性を秘めて進行しつつあるとすれば重大な問題である。成長の限界を指摘したローマクラブによる予測(1972)は周知の通りであるが、わが国環境白書⁶⁾も、大量の資源消費と工業生産を続けるなら、21世紀半ばには破局が避けられず、工業生産活動を抑制し、投資を汚染防止や省資源化に振り向けていけば、破局は避けられるという予測結果(環境研究所)を示している。また英国政府(気象庁)⁷⁾も昨年、地球温暖化が現在の速度で進行するなら、21世紀半ばまでに、例えばアマゾン河流域の熱帯林は草原あるいは荒地に変化するほか、地球上の各地において飢餓、水不足、洪水、マラリアの流行、その他の重大な損害が発生するなどの予測結果を発表している。推定には不確定性があるとは言え、環境問題が緊急を要する問題であることは論を要さず、地球規模での社会経済活動の変革と制御とが求められていることは間違いない。

b) 背景としての世界構造

環境問題は独立に存在するものではなく、今日、人間と自然に関する多くの問題と複雑に関係している。政治的問題を除くとすれば、21世紀に我々が直面する問題のうち環境問題に深い関係をもつものとして、止まらない人口爆発、深刻な食糧問題、世界経済の不均衡(南北格差)と不安定、貧困、拡大する資源・エネルギー消費(2010年には途上国のCO₂排出量が先進国のそれを上回る:IEA予測)、途上社会人口の都市集中、先進社会経済システムの矛盾と弱点など、多数を挙げることができる。これらと環境問題との関わりのうち主要なものを図-1に示す。

これらは環境問題の解決に立ちはだかる問題とも言えるが、その第1は、先進社会を中心としたジレンマ(dilemma)の構造である。国内的には、持続可能な社会の形成のためには社会経済活動の制御と転換が必要とされるにもかかわらず、自由経済のグローバリズムの下でそのシステムは無限と見られる発展を目指す、また常に成長が持続しなければ不況、失業、そして社会不安を招くような不安定なシステムとなっていることであり、国際的には、温暖化防止対策において見られるように、環境

- A. ジレンマ (dilemma: 2 律背反) の社会経済構造 : 特に先進国において
- 国内的
- 持続可能な社会の形成のための社会経済活動の制御と転換
- ↑↓
- 連続的かつ無限の発展を旨む自由経済システムとグローバリズム
- 国際的
- 環境政策のための経済政策における国際協力
- ↑↓
- ボーダーレス自由経済システムにおける国際的競争の増大
- B. トリレンマ (trilemma: 3 律背反) の世界構造 : 途上国を中心として

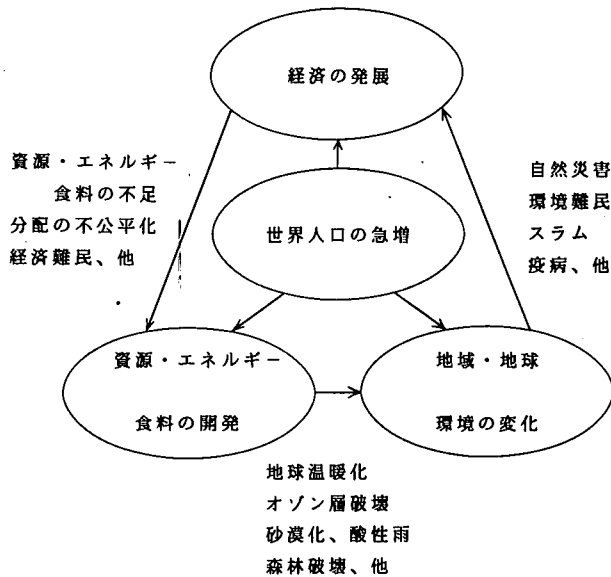


図-1 環境問題の基本的背景構造

政策のためには経済政策における国際協調が不可欠であるにもかかわらず、自由経済のボーダーレス化が進み、国際的経済競争が益々激化していることなどである。

第2は途上社会を中心としたトリレンマ (trilemma) の世界構造⁶⁾である。現在 58 億 (1996) の世界人口は、途上国人口の急速な増加によって 21 世紀半ばには 100 億を越えるケースも予測されている。途上社会の爆発人口を支えた人口増加を抑制するには、経済発展が必要であり、このためには食料・資源・エネルギーの開発が不可欠となるが、これによって地域・地球規模環境問題の要因が増加し、これはまた経済発展のみならず人類の生存基盤を脅かす。人口増加の有効な抑制が困難とすれば、結論として、少なくとも、途上社会の開発は地域のみならず地球環境に十分に配慮されたものでなければならず、また先進社会においては資源利用と生産の抑制が不可避となる。従って、21 世紀の人類は、先進社会と途上社会の共存を前提とし、地球共同体として問題克服の努力を貫徹せねばならない。

(2) 環境問題への取組みの基本的課題：文明の変革⁷⁾

今世紀に直面することとなった上記のような環境問題は、環境保全技術の研究開発、高度化などのみによって解決できるものでないことは明らかである。有限な地球環境、有限な資源という制約条件が存在するにもかかわらず、近代文明の発展の過程において、科学技術の進歩に支えられた社会経済活動を、特に今世紀に急速に拡大した事に原因がある。従って、21 世紀には基本的には文明の変革が不可欠であると指摘されている。現代文明の要素のうち環境問題を支配するものとして、① 価値観、② 生活様式、③ 科学技術、④ 社会経済システムなどが挙げられるが、これらの改善、修正、転換などが不可欠と言える。

a) 価値観の転換

環境問題は人間の生き方の問題であり、価値観とこれに基づくライフスタイルの転換が基本的課題となる。価値観の多様化した、あるいは混乱した現代において、今一度、人間個人にとって基本的な価値は何か、社会の一員としての価値は何か、自然の一生命としての人間の価値

基本要件

1. 利己的かつ不必要な価値観からの脱却
2. 持続可能な発展及び共生のために不可欠な価値観の選択

取捨選択の基準

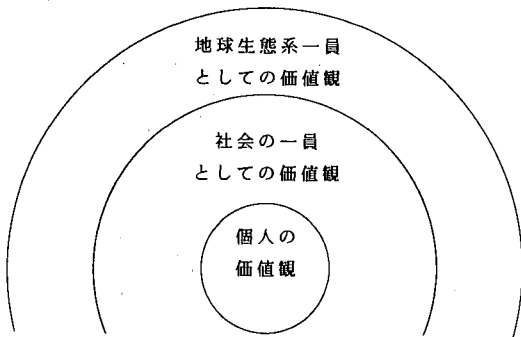


図-2 価値観の転換

は何かなど、深く再考察する必要がある(図-2)。個人には、身体的な安全と健康、精神的な安らぎと喜びが基本的な価値観であり(表-4)、物質的豊かさを基礎にした、新奇性、外観美、利便性、快適性、機能性、効率性、経済性などの価値観およびこれらの評価尺度は十分に見直す必要があろう。社会の一員としての価値観、すなわち共存のためのパラダイムは強化されねばならず、特に将来世代に対する責任は新たなものであり、これは環境倫理のパラダイムの一つでもある。ヒューマニズムはキリスト教精神に基づく崇高かつ重要な価値観であり、衛生工学の基本理念の一つであった。しかし以下の観点からは人間中心主義の強調に代用されることが無いよう、留意せねばならない。地球生態系の一員として新たに選択すべき価値観は、共に生きる、共生(Symbiosis)であり、共に生きるための物質・エネルギーの循環が基本的に必要なライフスタイルでもある。また環境倫理の理念も広義には共生のパラダイムに含まれるものと考えられる。

共生、循環について今少し触れると¹⁰⁾、現代は、17世紀以来の近代科学の基礎でもあった階層従属的な人間・自然観に代わる、共生的な人間・自然観(梅原猛)と、これを基礎とする科学技術体系への転換が必要とされているものと考えられる。共生・循環は上記のように今日では自然科学的に明白な生態系原理であり、その実態と重要性の理解は益々深まっている。生命の進化においても、例えばL.Margulis等の「連続内部共生説」は、種別化した原始生命体(原核生物)が共生という異なった種の間での合体プロセスを繰り返すことによって、斬新でより複雑な生命の存在様式(真核生物)を生み出し、しかも幾通りかの組合せによって幾つかの異なった生物群を創出していくという大きな筋道を、説得力あるものとし

表-4 価値観の再評価と取捨選択

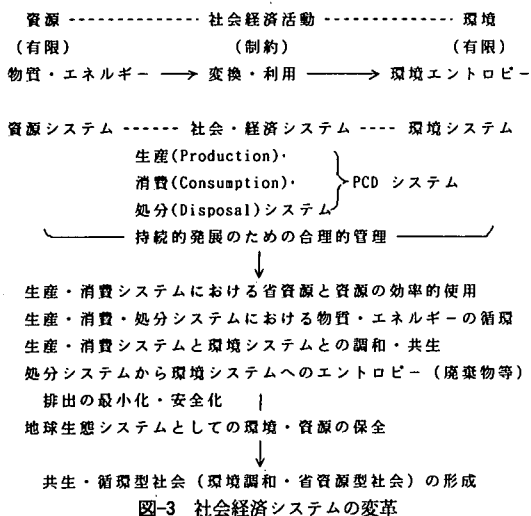
個人の価値観(取捨選択)	評価例
安全、健康 (身体的)	不可欠
心の安らぎ (精神的)	不可欠
真・善・美 (精神的)	必要
快適性 (身体・精神的)	望ましい
効率性、経済性 (物質的)	場合により可欠
機能性、利便性 (物質的)	場合により可欠
新奇性、外観美 (物質的)	可欠
豊富、富 (物質的)	可欠
社会の一員としての価値観(強化・選択)	
共存(Coexistence)のためのパラダイム	
ヒューマニズム, 社会的責任, 倫理・道徳	
将来世代に対する責任(新たに選択)	
地球生態系の一員としての価値観(新たに選択)	
共生(Symbiosis)のためのパラダイム	
共生・循環, 環境倫理	

つつある(東正彦・阿部啄也)。また地球における共生の概念を突き詰めれば、地球は無機的に見える宇宙船地球号というより、ガイア仮説(ラブロック)によるように、1つの生命体として生きているとも見られる。

自然科学の他方において、科学の知に対する神話の知(現象との関わりから得られる個人の真実:河合隼雄)から見ると、仏教ではいわゆる「縁」によって相互の依存関係(共生)を教えており、さらに言えば因果が時間的相互関係、縁が空間的相互関係、空が論理的相互関係である(山本七平)と言う。天台密教の中で生まれた最も重要な思想(司馬遼太郎)「天台本覚論」は、「山川草木悉皆成仏」と教えており、従ってまた「風と行き来し、雲からエネルギーをとる」(宮沢賢治)と言うような自然との交感も可能となる。また輪廻思想(循環)は古今の東洋のみならず、ヨーロッパ先民族などにも強く生きていた神話の知の核心の思想であると言う。

b) 科学技術の目標、推進方向の修正

科学技術に支えられた現代文明の転換には、科学技術の目標、あり方の修正が必要である。現在、わが国において科学技術政策の目標¹¹⁾は、①地球と調和した人類の共存、②知的ストックの拡大、③安心して暮らせる潤いのある社会の構築など、より明確化されており(1992年)、共存のための科学技術として地球・自然環境の保全、エネルギーの開発および利用、資源の開発およびリサイクル、食料等の持続的生産などが挙げられている。科学技術の推進方向については、地球環境・エネルギー・資源等の地球規模の問題の解決のための科学技術、自然科学と人文科学の調和のとれた発展、環境や倫理に配慮するなど、人間の生活、社会および自然との調和などが重視されねばならない。



c) 社会経済システムの変革

社会経済システムは、資本主義がキリスト教精神の枠外に肥大化するにつれ、欲望充足のための生産・消費のシステムとして成長してきたきらいがあるが、これは今、上記のような価値観の転換に基づいて、環境保全と省資源を直接目標の一つとする生産・消費・処分のシステムへ転換せなければならない(図-3)。生産システムでは資源利用の節約と効率的利用、すなわち、より少ない資源でより高い価値を生むことが必要であり、生産活動と製品のライフにおける環境配慮も必要である。消費システムでは、生産物消費の節約・効率化と環境配慮が、また処分システムでは環境へのエントロピー（環境負荷）の最小化が必要である。また生産・消費・処分システムにおいては物質・エネルギーの循環と有効利用を促進する必要がある。こうした努力の最終目標は、「共生・循環型社会」、あるいは「環境調和・省資源型社会」の形成である。

4. 21世紀の環境工学に求められる視点

環境工学が、文明の変革のなかで「共生・循環型社会」の形成を目指し、多様化、複雑化した環境問題に取り組むには、次に述べるような視点あるいは課題への取り組みが必要であろう。

a) 技術価値体系の改善

まず工学における技術価値の評価、すなわち設計、生産と製品の評価基準を改善する必要がある。このためには、従来の個人の価値観に従った評価基準、例えば新奇性、利便性、快適性、機能性、効率性、経済性などを、新たに加える循環性・省資源性、環境調和性・共生性などの観点から見直すとともに、新たな技術価値体系のための論理を確立せねばならない。

さらには、こうした新たな技術価値体系と環境倫理のパラダイムに基づいた工学倫理を確立する必要がある。

b) 新しい技術価値体系による既存技術、研究開発、教育の改善

すなわち、新しい技術価値体系に基づく既存の設計・生産方法の改善、ライフサイクルアセスメント(LCA)等も採用する各種製品、建築物、社会基盤施設等の改善、工学教育における技術の目的の明確化、新しいテクノロジーアセスメント、すなわち、先端化・複雑化する科学技術の環境や社会への影響の予測・評価などが必要である。

c) 低環境負荷社会システムの構築

このためには、物質・エネルギー多消費型社会システムからの脱却のための、物質・エネルギー消費の少ない生産技術や製品の開発、低環境負荷のための排水・排ガス・廃棄物の処理技術やリサイクル技術の高度化と開発、自然浄化機能を活用した環境修復技術の開発や普及などが必要である。

d) 発展する科学技術とその成果の導入

遺伝子工学などバイオテクノロジー、新しい機能性の材料・化学物質、その他の先端的科学技術の成果が、環境技術の進歩を促進してきた、また促進するであろうことは言うまでもない。また、多様性、不確定性、予測困難性などは環境、生態系、社会などの本質であるが、こうした要因を内在する環境問題を克服するためには、多様性・ゆらぎ・混沌・非平衡・自己組織化などの科学の発展による新しいパラダイムの導入も必要であろう。

e) 人間活動の変化と影響の長期的かつ総合的な管理¹²⁾

多様な人間活動の変化、その地域的・地球的規模かつ長期的・蓄積的な影響などを総合的に監視、解析、評価することが重要である。そのためには、関係する自然科学的手法のみならず、人文社会科学的手法も併せた総合的な取組みが必要となる。また環境の総合的管理あるいはクロスメディアアプローチ、すなわち、関係する複数の環境要素における現象の全体的な把握と総合的な解析や影響評価が必要である。さらに、長期的できわめて緩い環境の変化や生態系の動態などの明確な観測、影響の重大性によっては不確定性があっても将来の影響を予防するとする予防原則に基づいた予見的アプローチ、他種のリスクを含めて全体のリスクを低減するリスク管理の観点に立った環境リスクの総合的な低減化などが重要視される。

f) 環境政策手段の提示¹²⁾

環境負荷を低減するための法制度的手法や経済的手法、世代間責任を考慮した環境マネジメント手法、政策合意形成のための手法などの研究開発と提示が必要であり、また社会の価値観の転換のための政策手法も必要である。こうした課題に対しても、環境工学分野からもよ

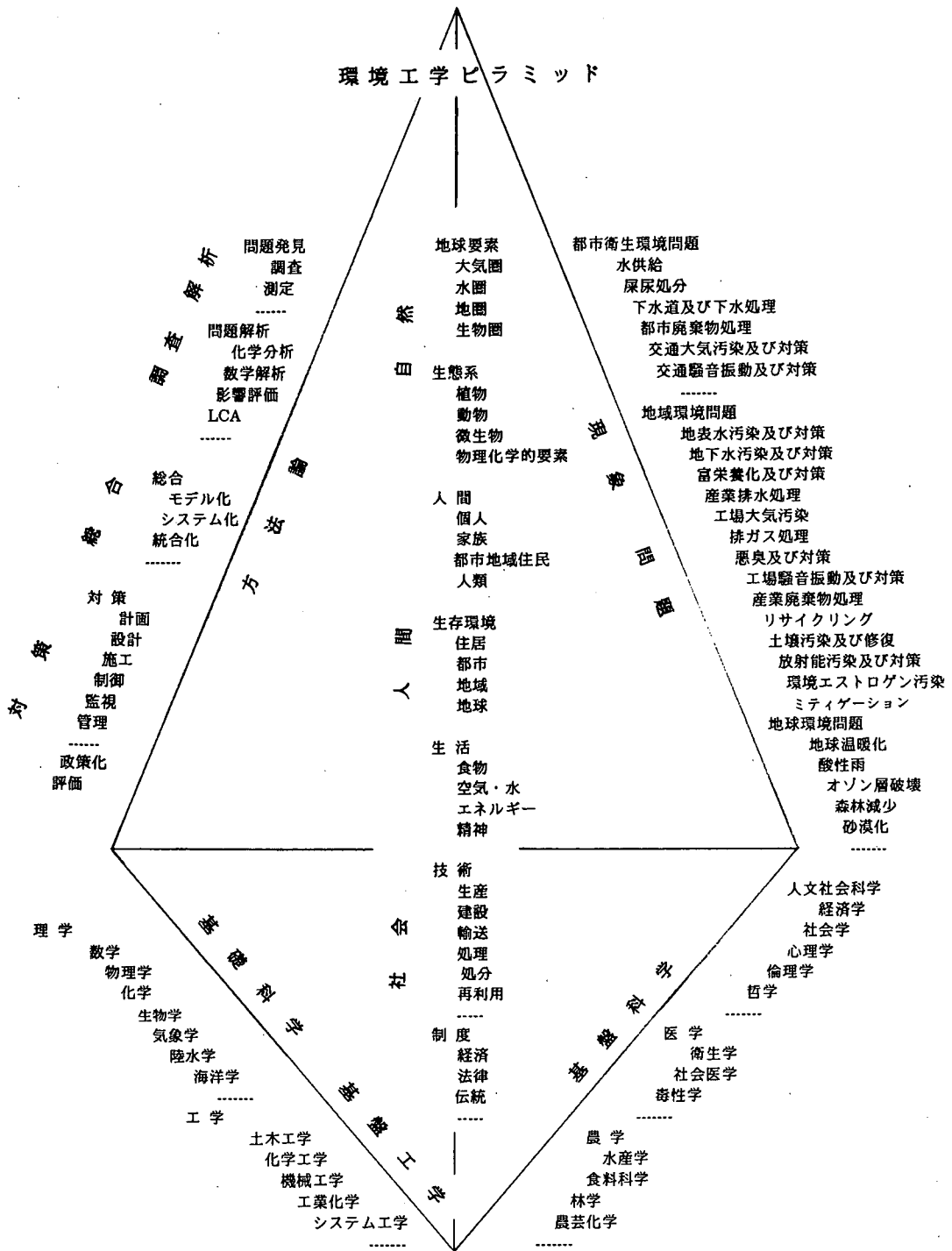


図-4 環境工学の体系

り積極的な取組みがなされるよう、期待される。

g) 環境工学の体系化と研究の組織化

上述のように、21世紀の環境問題の解決のためには、明確な戦略をもって総合的かつ体系的に取り組まねばならない。そのための環境工学体系の理解を助けるため、

図-4のような環境工学ピラミッドを提示した。これは、多様な環境問題から成る軸、その原因と現象の場としての人間、社会および自然環境の軸、問題への取組み手法の軸、取組みの基礎となる種々の関連学術分野の軸などから構成されており、かつての提示¹³⁾を修正したもので

ある。

また教育研究の国際評価、組織、運営の一層の合理化等が不可避とされる今後においては、広範な課題を抱えつつ総合的な追求も不可欠となる環境工学分野においてはとくに、個人成果の追求というよりは組織成果の追求を目指し、講座・大学・研究機関等間の研究の組織化と各組織による課題の合理的な分担などを常態化して研究の高度化と効率化を図るという努力が必要であろう。環境工学者には生命を衛る（衛生）と言う原点の認識に基づいた奉仕の精神も求められている。また2.(2)のc)で述べたように、環境要素や対象事業別に縦割りに専門分化している環境関係学会について、横への連携を実際かつ有効なものとするのが大きな課題であり、境界領域をカバーする試み以上の一層の努力が必要であろう。

h) 環境問題の地域性と多様性

先進社会と比べ、発展途上社会の環境問題は、生活の衛生条件あるいは貧困に起因する疾病から地球環境問題まで、問題とその背景は多様で複雑である。地域の社会と自然に適応した低負荷社会システムと環境技術の開発が必要であり、技術移転は地域の自然条件、文化、経済、伝統等との調和への配慮の下で行われなければならない。従ってまた、環境工学が21世紀に対処すべき問題はきわめて多様である。

5. おわりに

近代文明の発展の過程で、人類は多くの福利、恩恵の獲得を可能としたが、一方においてまた多くの地域的かつ地球規模の環境問題に直面するに至った。

こうした問題の克服のためには環境技術の発展が不可欠であるが、しかしまたそうした技術のみでは問題の解決に至らないことも明らかである。今日の環境問題は社会経済活動とそのシステムの問題から生じており、根源的には現在の文明に原因することが指摘されている。すなわち、環境問題は本質的に我々の生き方の問題である。思い返せば、人間、自然とは何か、人生とは何か、如何に生きるかという問題は、長らく哲学や宗教の課題であった。21世紀には、その基盤として現代の混乱した価値観、価値体系を深く再考し、現在の生活様式、社会経済システム、そして文明そのものを変革する必要に迫られている。

こうした変革を達成するにはきわめて多くの努力が必要であるが、急がねばならず、また先進社会に属する我々の責務は大きい。環境工学分野に期待される努力は多大であるが、それらには献身的喜びをもってあたりたい。それら努力の目標は、環境工学的には「共生・循環型社会」、あるいは「環境調和・省資源型社会」の形成で

あり、人と人、社会と社会、人・社会と自然の間での心豊かなかつ物質的に調和のある共生を、地球生命共同体として永続的に達成するという人類の最終目標に基づくものと言える。

参考文献

- 1) 環境庁：環境白書、～平成10年度版など、大蔵省印刷局。
- 2) Terashima, Y.: Lifestyle and Its Waste Management Problems, Environment and Culture, The Siam Society, Bangkok, pp.207-228, 1993.
- 3) 丹保恵仁：環境衛生工学の回顧と展望、土木学会論文集、第552号/VII-1, pp.1-10, 1996.
- 4) 土木学会：土木学会地球環境行動計画－アジェンダ21／土木学会－、土木学会誌、4月号別冊増刊, pp.121-125, 1994.
- 5) 内藤正明：21世紀の社会変革と土木工学、土木学会論文集、第555号/IV-34, pp.1-13, 1997.
- 6) Environment Agency: Quality of the Environment in Japan, Printing Bureau, Ministry of Finance, pp.158-164, 1994.
- 7) 朝日新聞：温暖化で砂漠・草原に一英政府予測、11月8日, 1998.
- 8) 井内正直：トリレンマの構造、地球文明の条件、岩波書店, pp.29-51, 1995.
- 9) Yutaka Terashima: Environmental Engineering in Japan -Toward the 21st Century-, Proc. of the 7th JSPS-VCC Seminar on Integrated Engineering, pp.7-13, 1998.
- 10) 寺島泰：地球工学科の理念と環境工学の役割、環境衛生工学研究, Vol.10, No.1, pp.3-5, 1996.
- 11) 科学技術庁：科学技術白書、大蔵省印刷局, 1997.
- 12) 環境庁：環境研究・環境技術ビジョン、大蔵省印刷局, 1997.
- 13) 寺島泰：環境・衛生工学分野における発展途上国との国際交流について、環境技術, Vol.17, No.3, pp.12-20, 1988.

(1999.1.4 受付)